



CODIGEM

CORPORACIÓN DE DESARROLLO E INVESTIGACIÓN
GEOLÓGICO-MINERO-METALÚRGICA



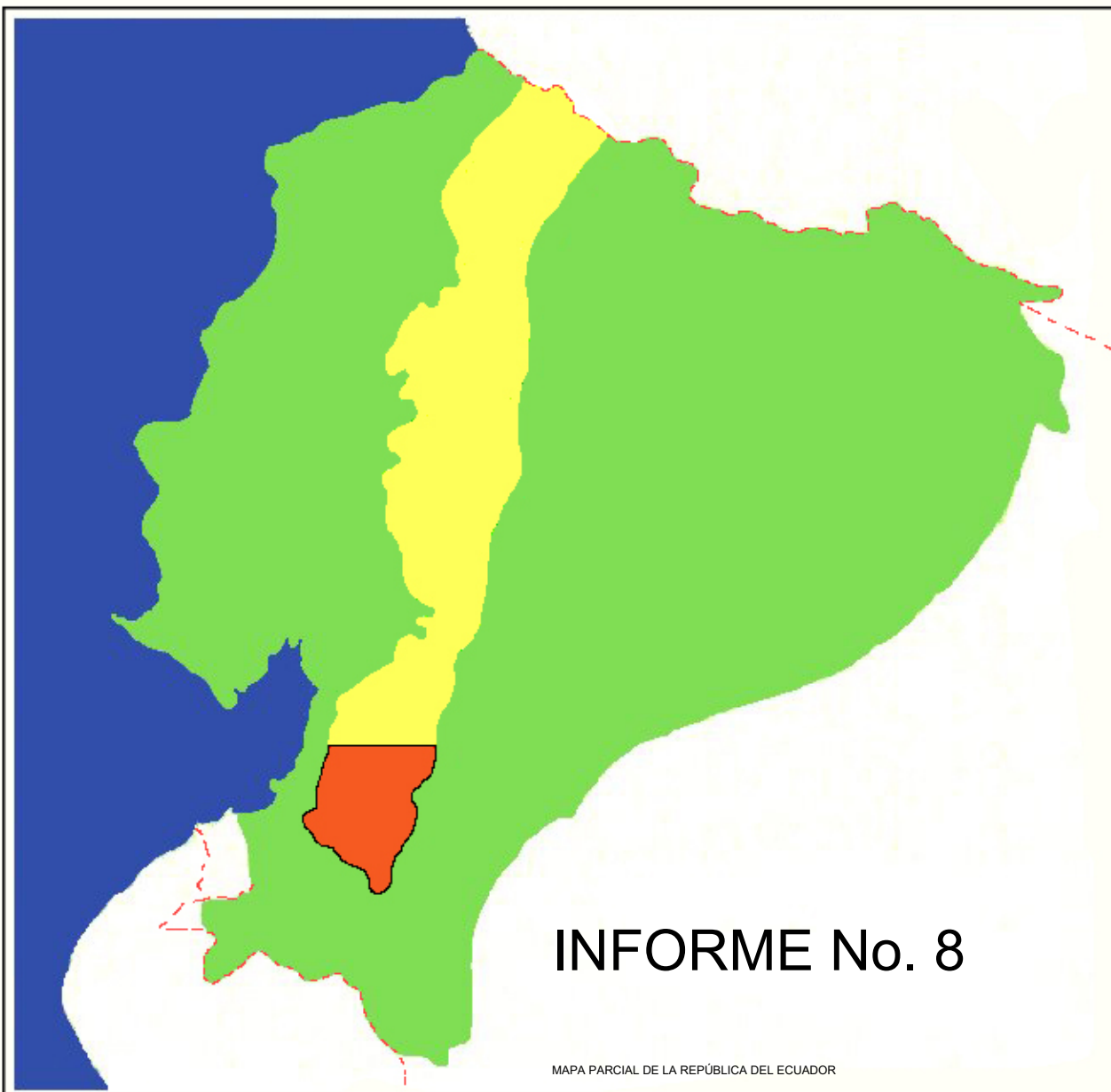
**MINISTERIO DE ENERGÍA
Y MINAS**

DFID

DEPARTMENT FOR
INTERNATIONAL DEVELOPMENT



BRITISH GEOLOGICAL SURVEY



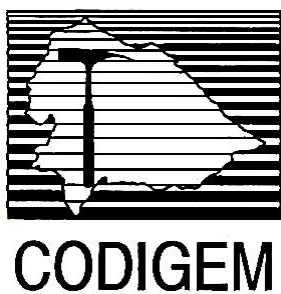
INFORME No. 8

MAPA PARCIAL DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

**PROYECTO DE DESARROLLO
MINERO Y CONTROL AMBIENTAL
DEL BANCO MUNDIAL**

**PROGRAMA DE INFORMACIÓN Y
CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA
(CORDILLERA OCCIDENTAL)**

PATRI MATRIQUE



PROYECTO DE DESARROLLO MINERO Y CONTROL AMBIENTAL

PROGRAMA DE INFORMACIÓN Y CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA

Informe Número 8

**INVESTIGACIÓN GEOQUÍMICA DE RECONOCIMIENTO DE LA
CORDILLERA OCCIDENTAL DEL ECUADOR
ENTRE 3°00' Y 4°00'S**

T. M. Williams

A. Gaibor

P. N. Dunkley

CODIGEM-BRITISH GEOLOGICAL SURVEY

Quito-Ecuador

1998

Traducción al español por

Stalyn Paucar

2024

**PICG PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN GEOQUÍMICA
PERSONAL PARTICIPANTE**

Geoquímicos principales

Dr. T. M. Williams

Dr. P. N. Dunkley

Jefe de la Misión Británica

Dr. J. A. Aspden

CODIGEM

Ing. A. Gaibor

Mr. E. Cruz

Arq. V. Acitimbay

OPERACIONES DE CAMPO

Supervisor del grupo

Ing. N. Báez

Supervisor del grupo

Ing. E. López

Muestreadores

H. Durazno

F. Núñez

J. Segovia

R. Brito

H. Núñez

J. Galarza

Muestreadores

M. Cruz

R. Rosales

J. Solis

W. Castillo

E. Hinojosa

E. Romero

Referencia

Williams, T., Gaibor, A. & Dunkley, P. (1998). *Investigación Geoquímica de Reconocimiento de la Cordillera Occidental del Ecuador entre 3°00' y 4°00'S* (Stalyn Paucar, Ed. y Trad., 2024). Informe Número 8. Programa de Información y Cartografía Geológica. BGS-CODIGEM/MEM.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. ÁREA DE COBERTURA	1
2.1 Fisiografía	1
2.2 Contexto geológico	1
2.2.1 Basamento metamórficos	1
2.2.2 Unidad Pallatanga	3
2.2.3 Unidad Celica	3
2.2.4 Unidad Yunguilla	3
2.2.5 Formación Quingeo	3
2.2.6 Unidad Sacapalca	3
2.2.7 Grupo Saraguro	3
2.2.8 Formación Santa Isabel	4
2.2.9 Formación Catamayo	4
2.2.10 Grupo Ayancay	6
2.2.11 Formación Turi	6
2.2.12 Formación Uchucay	6
2.2.13 Formación Quimsacocha	6
2.2.14 Formación Tarqui	6
2.2.15 Depósitos cuaternarios	6
2.2.16 Rocas intrusivas	7
2.2.17 Estructura	7
2.3 Mineralización metalífera	8
2.3.1 Mineralización porfídica	8
2.3.2 Mineralización epitermal	8
2.3.3 Brechas y vetas mesotermiales	9
2.3.4 Vetas mesotermiales	9
2.3.5 Sulfuros masivos exhalativos	9
3. PROCEDIMIENTOS DE MUESTRO Y ANALÍTICOS	10
3.1 Sistema de numeración	10
3.2 Procedimiento de muestreo de campo	10
3.3 Preparación de muestras	10
3.4 Análisis	11
3.4.1 Oro	11
3.4.2 Cationes mayores y traza	11
3.4.3 Metaloides	11
3.4.4 Mercurio	11
4. CONTROL DE CALIDAD	12
4.1 Varianza del muestreo	12
4.2 Precisión analítica	12
4.3 Estándares de control	14
4.3.1 Estándares de control del PICG	14
4.3.2 Estándares de control del BGS	17
4.4 Límites de detección prácticos	17

5. RESULTADOS	18
5.1 Datos digitales	18
5.2 Estadísticas resumidas	18
5.3 Distribución regional de elementos mayores y traza	18
5.3.1 Producción de gráficos	18
5.3.2 Terrenos litogeoquímicos	18
5.3.3 Oro	19
5.3.4 Arsénico y Antimonio	34
5.3.5 Mercurio	38
5.3.6 Cobre	40
6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	42
6.1 Potencial económico	42
6.1.1 Directrices interpretativas	42
6.1.2 Importancia de las anomalías geoquímicas	42
6.2 Líneas base ambientales	43
6.2.1 Justificación	43
6.2.2 Desarrollo de criterios de calidad de sedimentos	45
6.2.3 Predicción y control de impactos mineros	46
6.2.4 Peligros geoquímicos naturales	48
6.3 Declaración final	48
7. BIBLIOGRAFÍA	49

FIGURAS

1	Cuadrángulo 3°-4°S del PICG	2
2	Geología simplificada del cuadrángulo 3°-4°S del PICG	5
3	Gráficos de series temporales de control del Cobre y Plomo	15
4	Gráficos de series temporales de control del Zinc y Arsénico	16
	Gráfico de probabilidad acumulada y distribución de anomalías:	
5	Au	23
6	As	35
7	Sb	37
8	Hg	39
9	Típico pH y contaminantes disueltos característicos de las aguas mineras	47
10	Diagramas spider para depósitos minerales seleccionados	47

TABLAS

1	Datos de varianza del muestreo	12
2	Umbral de precisión para elementos seleccionados	13
3	Certificación del BGS de los estándares de control	14
4	Límites analíticos de detección de Bondar Clegg y determinados de forma independiente	17
5	Datos geoquímicos para el área 3°-4°S de la Cordillera Occidental. Estadísticas resumidas	20
6	Datos geoquímicos para el área 3°-4°S del PICG. Matriz de correlación de Pearson	21
	Estadísticas resumidas de:	
7	Basamento metamórfico	24
8	Unidad Pallatanga	25
9	Unidad Celica	26
10	Unidad Sacapalca	27
11	Grupo Saraguro	28
12	Grupo Ayancay	29
13	Formación Quimsacocha	30
14	Formación Turi	31
15	Formación Tarqui	32
16	Intrusiones principales de granodiorita y diorita	33
17	Resumen de las principales anomalías de drenaje	43
18	Criterios de Calidad de Sedimentos para la Protección de la Vida Acuática	45

1. INTRODUCCIÓN

El Programa de Información y Cartografía Geológica (PICG) de la Misión Geológica Británica incorpora los sub-componentes 3.3 y 3.4 del Proyecto, más amplio, de Desarrollo Minero y Control Ambiental (PRODEMINCA), iniciado en Ecuador en 1995 con financiamiento del Banco Mundial (préstamo no. 3655 EC) y los gobiernos de Ecuador, Reino Unido y Suecia. La función central del PICG es producir mapas geológicos y datos temáticos de Ciencias de la Tierra para la Cordillera Occidental de Ecuador, para uso del Ministerio de Energía y Minas en la promoción de inversiones sostenibles en el sector minero.

El levantamiento geológico y temático del PICG abarca un área de 36000 km² de la Cordillera Occidental entre las latitudes 1°N y 4°S. Este informe resume la metodología y los resultados del reconocimiento de drenajes del cuadrángulo 3°-4°S (ver ilustración de portada), cuyo muestreo se realizó entre septiembre y noviembre de 1996.

Todos los datos contenidos en este informe han sido incorporados en un paquete digital de acuerdo con los requisitos de muchos usuarios potenciales para realizar interpretaciones independientes de datos en una amplia gama de aplicaciones de software. Además, se ha preparado una serie de mapas de elementos únicos a escala 1:200000, que pueden consultarse de manera conveniente junto con este texto.

2. ÁREA DE COBERTURA

2.1 Fisiografía

El cuadrángulo 3°-4°S de la Cordillera Occidental se extiende entre longitudes 79°-80°E, cubriendo aproximadamente 6200 km². Los principales asentamientos incluyen Loja, Zaruma, Pasaje, Saraguro, Piñas y San Fernando (Fig. 1). La Carretera Panamericana, que conecta Cuenca y Loja, proporciona la principal ruta de acceso de N-S de la región, mientras que la carretera Cuenca-Santa Isabel-Pasaje constituye la principal arteria E-W. El acceso al sector al norte del Río Jubones es limitado.

2.2 Contexto geológico

Se ha producido un mapa geológico a escala 1:200000 del cuadrángulo 3°-4°S de la Cordillera Occidental bajo el PICG y publicado por BGS-CODIGEM (1997). Una descripción detallada de la litoestratigrafía, estructura y mineralización del área es proporcionada por Pratt et al. (1997). Se incluye un mapa geológico simplificado basado en el trabajo mencionado anteriormente en la Fig. 2.

2.2.1 Basamento metamórfico

Las rocas metamórficas, continuación del complejo metamórfico El Oro (Aspden et al., 1995; Feininger, 1973), probablemente subyacen gran parte del área. Principalmente ocultas por litologías volcánicas más jóvenes al noreste de la Falla Jubones, se encuentran en ventanas erosivas como San Pablo de Cebadas, Manú y en el Río San Luis. Predominan los metasedimentos, incluyendo esquistos de grado muy bajo (sub-esquistos verdes) y conglomerados clivados. Facies de grado más alto (gneises y gneises graníticos con granate) se encuentran en Manú y San Pablo de Cebadas. En el extremo sur del área mapeada, litologías con el grado de andalucita y biotita pasan hacia el sur a turbiditas no metamorizadas de la Unidad El Tigre (Aspden et al., 1995).

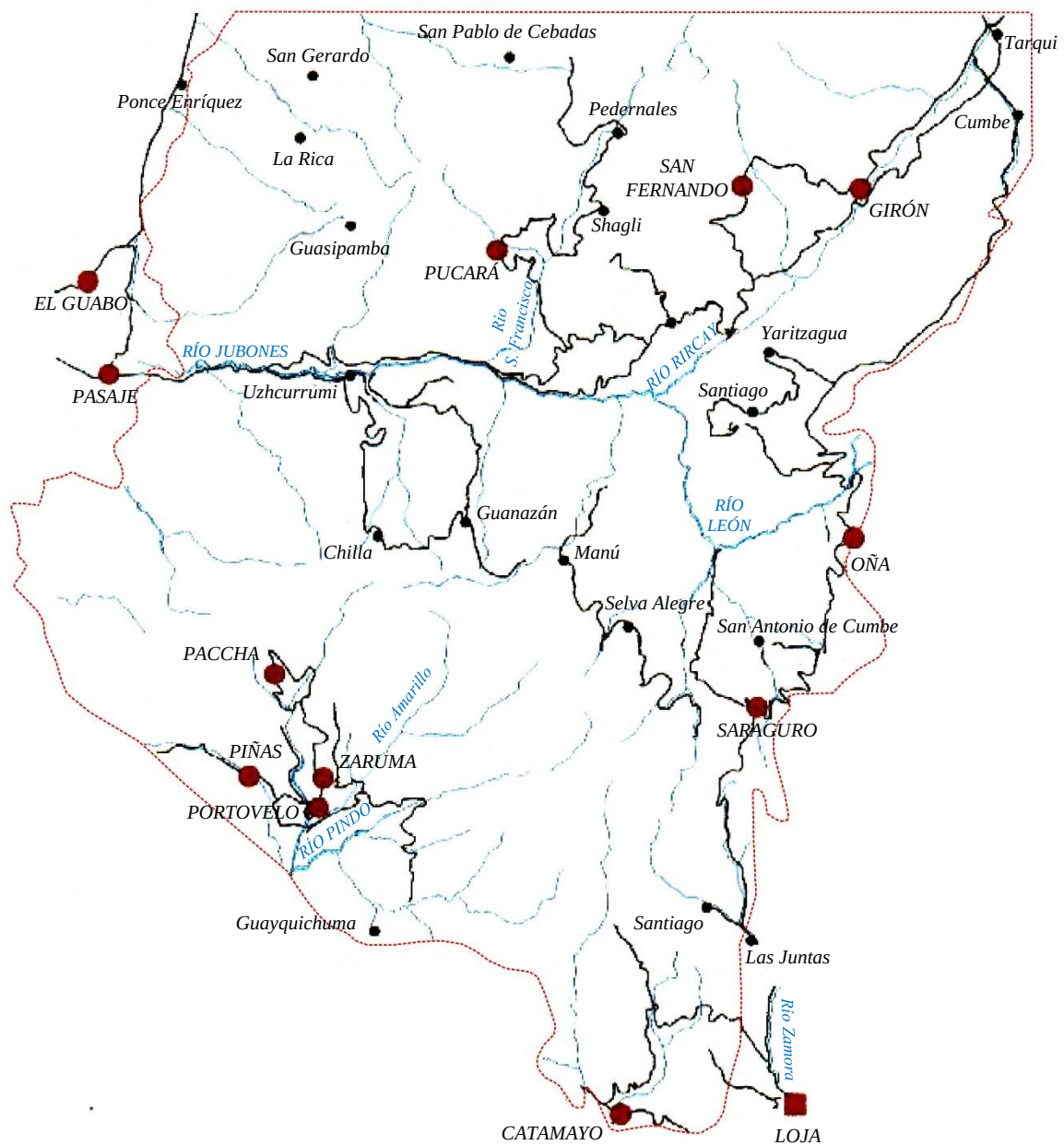


Figura 1. Cuadrángulo 3°-4°S del PICG

2.2.2 Unidad Pallatanga

La Unidad Pallatanga (McCourt et al., 1997) está compuesta por basaltos azul-verdosos y hialoclastitas, mejor expuestos alrededor de Bella Rica y Tres Ranchos en el noroeste del área mapeada. Las rocas muestran una alteración hidrotermal pervasiva con epidota, clorita, calcita y pirita diseminada. Se asigna tentativamente una edad del Cretácico medio a esta unidad.

2.2.3 Unidad Celica

La Unidad Celica (Pratt et al., 1997) aflora en el sureste del área, limitada por fallas entre el basamento metamórfico y la Unidad Sacapalca. Las litologías comprenden tobas andesíticas y lavas verdes, profundamente meteorizadas, ricas en plagioclasa, anfíbol y augita. Las relaciones estratigráficas sugieren una edad Albiana (Jaillard et al., 1996).

2.2.4 Unidad Yunguilla

La Unidad Yunguilla (cf. Hughes y Bermúdez, 1997) está compuesta por una secuencia de abanicos de turbiditas marinas, expuestas en inliers en Cumbe, al sur de Cuenca, y entre Selva Alegre y Manú. Se ha asignado una edad del Maastrichtiano basada en bioestratigrafía (Woods, 1997).

2.2.5 Formación Quingeo

La Formación Quingeo aflora en Cumbe. Suprayace a la Unidad Yunguilla, con la cual presenta un contacto transicional aparente. Está compuesta por una secuencia de areniscas moradas, limolitas y lodolitas. Se ha sugerido una edad del Maastrichtiano para la base de la Formación (Pratt et al., 1997; Woods, 1997). Sin embargo, en la sección tipo, Steinmann (1997) asignó una edad del Eoceno Medio a Tardío.

2.2.6 Unidad Sacapalca

La Unidad Sacapalca (Pratt et al., 1997) aflora ampliamente en el este y sureste. Está compuesta por lavas andesíticas, brechas tobáceas, conglomerados, lodolitas lacustres y escasas tobas dacíticas. Según Pratt et al. (1997), está intruida por el plutón San Lucas (59-51 Ma; Aspdén et al., 1992) y la intrusión El Tingo (47 ± 2 Ma; 50 ± 3 Ma; Kennerley, 1980), consistentes con una edad del Paleoceno o Eoceno Temprano (Jaillard et al., 1996). Una edad de trazas de fisión de 66.9 ± 5.8 Ma obtenida cerca de Catacocha implica una edad del Maastrichtiano más reciente o Paleoceno temprano.

2.2.7 Grupo Saraguro

El Grupo Saraguro (Baldock, 1982) ocupa aproximadamente el 60% del área mapeada y se encuentra mejor expuesto entre Tenguelillo y el páramo alrededor de Quinuas y Narihuiña (al oeste de San Fernando). El grupo está compuesto por tobas de flujo piroclástico soldadas dacíticas a riolíticas con intercalaciones de andesitas, material volcánico retrabajado y rocas sedimentarias. En el área de Quinuas, el primer km inferior de la secuencia tiene intercalaciones dispersas de lodolitas y areniscas turbidíticas. El Grupo Saraguro del área 3°-4°S abarca desde el Eoceno hasta mediados del Mioceno, incorporando las siguientes Unidades/Formaciones:

2.2.7.1 La Formación Las Trancas (Pratt et al., 1997) puede rastrearse hacia el oeste desde el área tipo de Las Trancas hasta la llanura costera al sur de Ponce Enríquez. Las principales litologías son tobas de lapilli-líticas andesíticas/dacíticas, brechas tobáceas, conglomerados, lodolitas rojas y areniscas. Los fragmentos metamórficos, incluyendo gneis y esquisto, son comunes.

2.2.7.2 La Unidad Portovelo (Pratt et al., 1997) aflora al norte de la Falla Piñas-Portovelo. Está compuesta por lavas basáltico-andesíticas y andesíticas, así como tobas andesíticas. Los datos geoquímicos indican una firma calcoalcalina.

2.2.7.3 La Formación Jubones (Pratt et al., 1997) ocurre cerca del tope del Grupo Saraguro. Los afloramientos indican una extensión original de al menos 2700 km² con un espesor máximo de 500 m. Las exposiciones más al sur ocurren en un graben estrecho en Guanazán, y las más al norte, aproximadamente 60 km al norte, en Pimo (Dunkley y Gaibor, 1997b). La Formación es rica en cristales de plagioclasa, biotita y cuarzo. Las juntas de enfriamiento a gran escala (>1 m de diámetro) y una foliación de soldadura débil son generalizadas. Se observa una brecha de co-ignimbrita y base-surge con árboles silicificados en la localidad tipo. Cerca de Santa Isabel, la toba ha sido datada por K/Ar (biotita) como Mioceno temprano (22.76 ± 0.97 Ma).

2.2.7.4 La Formación La Fortuna (Pratt et al., 1997) cubre al menos 450 km². Geoquímica y petrográficamente es similar a la Toba Jubones, pero con una mayor cantidad de matriz fina (vitroclastos). La Formación está datada por trazas de fisión en 23.2 Ma.

2.2.7.5 La Formación La Paz (Pratt et al., 1997) cubre un área de aproximadamente 600 km² y está restringida al este del Sistema de Fallas de Girón. El principal afloramiento está en el páramo entre La Paz (localidad tipo), Oña y Saraguro. La toba es rica en cristales, con abundantes grandes cristales de cuarzo y plagioclasa. Se ha obtenido una edad por trazas de fisión de 22.5 ± 0.9 Ma (Mioceno temprano).

2.2.8 Formación Santa Isabel

La Formación Santa Isabel (Pratt et al., 1997) aflora en el área de Santa Isabel y Girón, bordeando el Grupo Ayancay. Los estratos son principalmente brechas tobáceas y lavas andesíticas con vetas de calcita. La datación por trazas de fisión ha establecido una edad del Mioceno temprano para la Formación (Hungerbühler, en prep.).

2.2.9 Formación Catamayo

La Formación Catamayo (Jaillard et al., 1996) aflora alrededor de Catamayo. Está compuesta por areniscas rojas y amarillas, limolitas y lutitas, que yacen discordantemente sobre las andesitas de Sacapalca. Se ha asignado una edad tentativa del Mioceno medio.

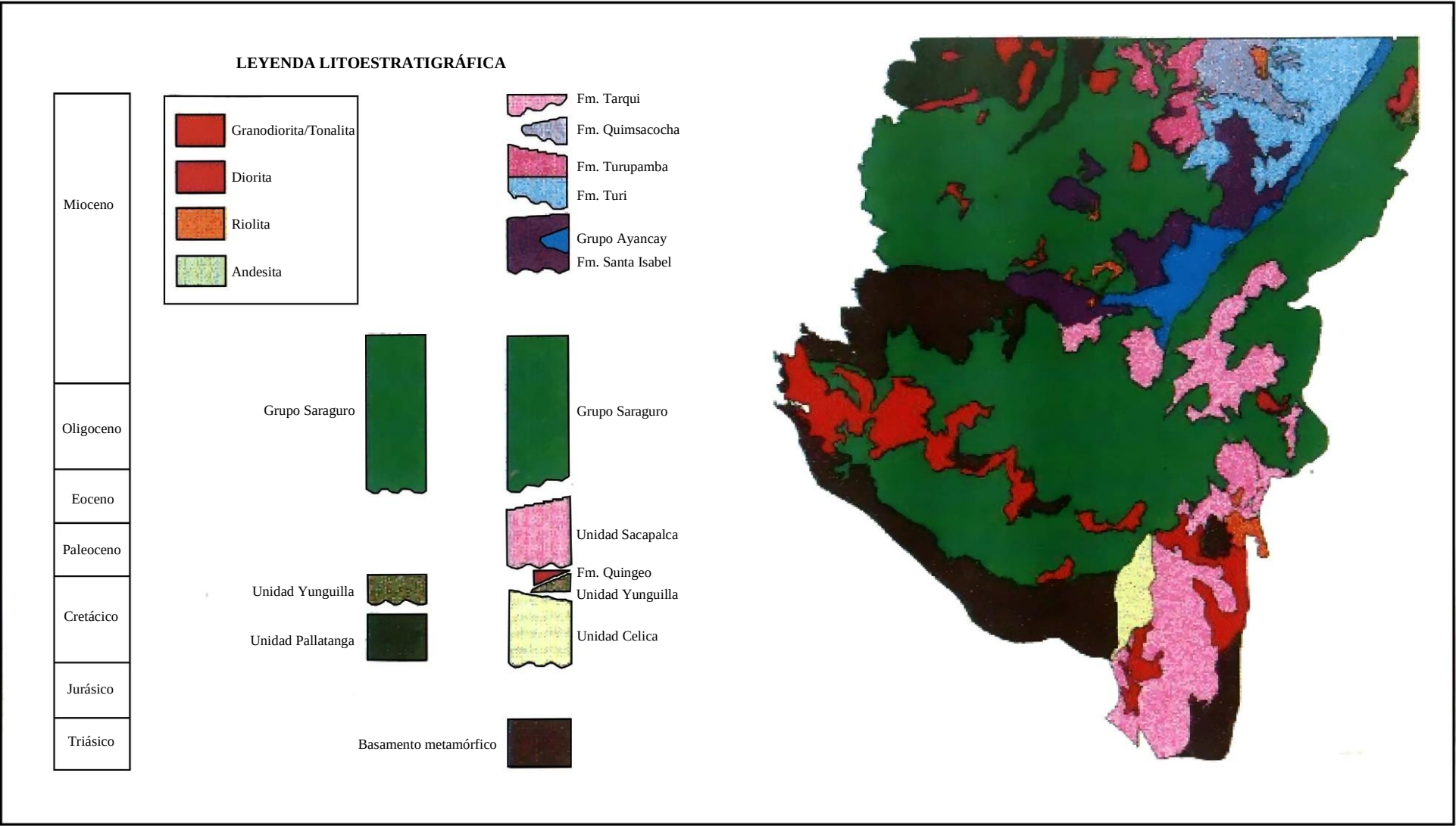


Figura 2. Geología simplificada del cuadrángulo 3°-4°S del PICG

2.2.10 Grupo Ayancay

El Grupo Ayancay (UNDP, 1969) está en gran parte confinado a una zona entre el Sistema de Fallas de Girón y el Cinturón de Gañarín. La secuencia está intercalada entre lenguas superiores de andesita de la Formación Santa Isabel, adelgazando hacia el norte. Los afloramientos más septentrionales ocurren en Tuncay, al este del Cinturón de Gañarín. Las litologías comprenden conglomerados rojizos, areniscas, limolitas y lodolitas con raras tobas de caída aérea y carbones. La deposición abarcó gran parte del Mioceno.

2.2.11 Formación Turi

La Formación Turi (Erazo, 1957) aflora al norte del Sistema de Fallas de Girón y al este del Cinturón de Gañarín. La geometría del afloramiento es radial, con un buzamiento hacia el sur y hacia el este alejándose de la Caldera de Quimsacocha. Las principales litologías son brechas tobáceas, conglomerados y areniscas, ricas en detritos de andesita con brechas tobáceas de andesita esporádicas. Dataciones de trazas de fisión indican una edad del Mioceno Tardío (8-9 Ma).

2.2.12 Formación Uchucay

La Formación Uchucay (DGGM, 1973) está confinada al área de Santa Isabel. Está compuesta por conglomerados amarillos y bancos de cantos rodados con una diversa mezcla de clastos de origen local. Dataciones de trazas de fisión indican una edad del Mioceno Tardío (9.4 ± 0.8 Ma).

2.2.13 Formación Quimsacocha

La Formación Quimsacocha (Pratt et al., 1997) cubre la Formación Turi alrededor de la Caldera de Quimsacocha. Al igual que la Formación Turi, el afloramiento es radial con suaves inclinaciones lejos de la caldera. Los estratos son lavas muy frescas con fenocristales de plagioclasa. La edad post-Mioceno Tardío se infiere por las relaciones estratigráficas con la Formación Turi.

2.2.14 Formación Tarqui

La Formación Tarqui (UNDP, 1969) aflora principalmente en las laderas orientales del centro de Quimsacocha y en el páramo entre Oña y Saraguro. Cubre todas las Formaciones más antiguas de manera discordante y alcanza un espesor máximo de unos 400 m al oeste de Saraguro. Las exposiciones de Quimsacocha comprenden tobas ácidas muy meteorizadas. En contraste, al norte de Saraguro, las rocas son principalmente tobas de estratos delgados (algunas de ellas caídas de aire), conglomerados tobáceos y areniscas tobáceas. Son comunes los restos de plantas y rara vez hay carbones. La Formación Tarqui está intruida por cuerpos dacíticos subvolcánicos en Saraguro, datados por trazas de fisión en 9.6 ± 0.5 Ma.

2.2.15 Depósitos cuaternarios

Los rellenos de valles aluviales son comunes en los canales principales, y secuencias de cobertura más extensas cubren las rocas del Cretácico al Terciario sobre las partes bajas del área mapeada adyacente a la llanura costera. Los depósitos coluviales están mapeados al norte de Manú.

2.2.16 Rocas intrusivas

Los doleritas y gabros se interpretan como parte de la Unidad Pallatanga. Las rocas metamórficas y los niveles más profundos del Grupo Saraguro y la Unidad Sacapalca están extensamente intruidos por dioritas cuarzosas y granodioritas (tonalitas) en los sectores sur y oeste del área cartografiada. Los granitoides son típicamente de grano grueso a medio, y muestran evidencia de enfriamiento rápido (vidrio cloritizado intersticial, intercrecimientos granofíricos finos y holocristalinos), consistente con un emplazamiento en niveles elevados. La intrusión de Paccha, que cubre un área de al menos 150 km², ha sido datada por métodos de K/Ar en 16.89 ± 0.16 Ma. Se han determinado dataciones K/Ar de 19.92 ± 0.18 Ma y 17.64 ± 0.61 Ma para una diorita cuarzosa al noreste de Uzhcurrumi [6635-96347] y la intrusión granodiorítica de Shagli respectivamente.

Existen cuerpos subvolcánicos de riolita afírica y andesita porfirítica comunes dentro del Grupo Saraguro y Formaciones más jóvenes, notablemente en el área de la supuesta Caldera de Jubones y a lo largo del Cinturón de Gañarín. Algunos pueden ser transicionales hacia domos, por ejemplo, en Abañín [6675-96316]. A lo largo de la carretera de Santa Isabel a Pucará [6726-96407], una riolita brechada de hasta 300 m de espesor y con una longitud de 5 km en dirección del rumbo puede representar un domo colapsado. Generalmente, los complejos subvolcánicos son más jóvenes hacia el noreste. Las riolitas alrededor de Pachagmama son probablemente del Oligoceno más tardío/Mioceno más temprano, mientras que aquellas dentro de la Caldera Quimsacocha (intruyendo la Formación Turi) deben ser más jóvenes que 10 Ma.

2.2.17 Estructura

El Lineamiento Chaucha-Río Jérez de orientación NNE está marcado por un cinturón de fallas, pliegues, estratos de inclinación abrupta e inliers metamórficos, rastreable desde Chaucha (al norte del área cartografiada) hasta el inlier de San Pablo de Cebadas. El margen occidental de este inlier está definido como una falla inversa que coloca la Unidad Pallatanga sobre el Grupo Saraguro. Más al sur, no está claro si esta estructura se conecta con la Falla La Tigra o con un cinturón de tobas del Grupo Saraguro con inclinación hacia el Este anormalmente empinada, que se extiende desde Narihuiña a través de los prospectos polimetálicos de Tres Chorreras y Gigantones hasta Uzhcurrumi [6550-96350].

El Sistema de Fallas de Girón comprende pliegues apretados, fallas inversas y cabalgamientos que tienen una orientación N-NNE. Un cabalgamiento en La Cría coloca la Unidad Sacapalca y el Grupo Saraguro sobre el Grupo Ayancay. El Anticlinal La Cría se interpreta como un pliegue sobre un cabalgamiento ciego con vergencia NW. El Sinclinal Yaritzagua tiene una inclinación fuertemente NW, con un flanco oriental vertical a invertido.

El Sistema de Fallas de Girón se conecta con el Sistema de Fallas Jubones de rumbo Este. En la parte oriental, aquel último empuja la Unidad Sacapalca sobre el Grupo Ayancay. Un plano de cabalgamiento, cubierto por andesitas Sacapalca y subyacente por la Formación Jubones invertida y el Grupo Ayancay, se expone en el Río Manú.

El Cinturón Gañarín de rumbo NNE puede rastrearse desde Zaruma en el sur del área cartografiada hasta Quimsacocha cerca de la línea 3°S. Comprende una serie de fallas syn-deposicionales que ejercen un importante control regional sobre el volcanismo y la metalogénesis. Esta estructura puede limitar el lado oeste de la Cuenca de Cuenca y explicar la presencia de aguas termales y depósitos de travertino en Baños, al suroeste de Cuenca.

Varias fallas de rumbo ESE ocurren en el noroeste del área dentro de la Unidad Pallatanga. Ninguna parece tener un desplazamiento importante y se extinguen rápidamente en estratos más jóvenes del Grupo Saraguro. Un afloramiento de serpentinita de origen incierto ocurre a lo largo de la falla Río Chico de rumbo NW-SE.

2.3 Mineralización metalífera

Un esquema de la geología económica del área de 3°-4°S de la Cordillera Occidental es proporcionado por Pratt et al. (1997). A continuación, se resumen las principales ocurrencias minerales documentadas.

2.3.1 Stocks de riolita-andesita porfírica y no porfírica mineralizadas

Gaby [ref. 6428-96620] constituye la principal ocurrencia de pórfido conocida en el área cartografiada. Se registra una intensa alteración argílica, con mineralización de Mo-Cu-Au en stockworks y disseminaciones, asociada con un pequeño stock de microdiorita (Gemuts et al., 1992; Paladines y Rosero, 1996). Una posible ocurrencia de pórfido en Fierro Urcu [ref. 6830-95916] está asociada con un complejo de granodioritas tipo sill y microdioritas fuertemente diaclasadas, aparentemente cortadas por una riolita más joven, dentro de rocas de la Formación Saraguro. Localidades adicionales señaladas por Pratt et al. (1997) como hospedando evidencia de mineralización tipo pórfido incluyen Salvias [ref. 6593-96011], Shagli [ref. 6806-96497] y Cerro Nudillo [ref. 6680-95888].

2.3.2 Mineralización epitermal asociada con calderas, stocks de riolita y fracturas regionales

El Cinturón Gañarín de orientación noreste alberga varios prospectos epitermales predominantemente de carácter baja sulfuración. La estructura se extiende 60 km desde el prospecto de Au de Guanazán (al oeste de Manú) hasta Baños (al suroeste de Cuenca). El cinturón ha ejercido un importante control en el emplazamiento de complejos subvolcánicos y domos, y en la posición de centros eruptivos como Quimsacocha y Jubones. Cuerpos intrusivos fueron emplazados en un lapso de >15 millones de años, que van desde aproximadamente 26 Ma para la riolita de Pachagmama a <10 Ma para la riolita de Quimsacocha. Las intrusiones riolíticas se caracterizan típicamente por alteración argílica, silicificación y mineralización disseminada de pirita. Una textura pobre en cristales sugiere que los fluidos pueden, en varios casos, haber representado las fases finales de purga de la cámara magmática, con el consiguiente enriquecimiento en volátiles y metales.

En Quimsacocha [ref. 6978-96645], el prospecto más septentrional del Cinturón Gañarín dentro del área cartografiada, las riolitas se caracterizan por alteración argílica local y mineralización disseminada de pirita. Se observa una firma de alta sulfuración en comparación con otros prospectos del Cinturón Gañarín (alunita-enargita). El cinabrio se encuentra dentro del ensamble. El prospecto Cañaribamba [ref. 6860-96437], al norte de Santa Isabel, está asociado con un domo de riolita, con alteración limitada y posible mineralización tipo sinter. En Gañarín [ref. 6795-96355], una capa silicificada de unos 40 m de espesor cubre tobas y brechas andesíticas de las Andesitas de Santa Isabel, cortadas por vetas de cuarzo de orientación NNE que contienen hasta 12-15 g/t de Au. En Pachagmama [ref. 6750-96315], una intrusión de riolita forma el corazón de la Caldera de Jubones. Es idéntica en aspecto a la intrusión de Quimsacocha, mostrando alteración argílica localizada (caolinita) y mineralización disseminada de pirita. Se observa alteración propilítica (epidota, calcita, clorita) en el flanco este de un stock de andesita plagioclasa-anfibol fírica, con pirita disseminada registrada en tobas adyacentes del Grupo Saraguro. En el distrito de Zaruma/Portovelo, el Cinturón Gañarín pasa al lado oeste del inlier metamórfico de Salvias [6600-95960]. A pocos km al suroeste, los stocks subvolcánicos de riolita mineralizadas y las andesitas adyacentes están variadamente silicificadas y alteradas argílicamente, con mineralización de pirita asociada.

2.3.3 Brechas y vetas mesotermales

La mineralización mesotermal dentro del área cartografiada típicamente está asociada con brechas o diques de turmalina en los márgenes de intrusiones de granodiorita. El prospecto de Tres Chorreras [ref. 6637-96505], actualmente un sitio de minería artesanal, comprende stocks irregulares de microdiorita feldespática, anfíbol- y cuarzo-fírica intruida en tobas líticas y tobas riolíticas soldadas del Grupo Saraguro. Brechas mineralizadas ocurren dentro de la facies intrusiva cerca del contacto con la toba, más allá de lo cual se extiende un gran halo de turmalina diseminada por varios cientos de metros. El ensamble típico incluye molibdenita masiva, hematita, calcopirita, pirita y turmalina. La distribución de la mineralización en Tres Chorreras está dictada por la competencia, con los contactos intrusión-toba constituyendo sitios de fracturamiento tectónico incrementado. No hay evidencia de que las brechas huésped sean de origen hidrotermal. La Mina La Playa [ref. 6520-96430], ubicada 12 km al suroeste de Tres Chorreras, comprende varios conductos de brecha subverticales dentro de una cúpula de granodiorita. La cúpula está extremadamente cerca del contacto con la Formación La Fortuna, una importante discordancia angular. La mineralización puede, por lo tanto, reflejar algún tipo de barrera de fluidos. Cada tubo tiene aproximadamente 100 m de diámetro y comprende brechas de turmalina-cuarzo con contenidos variables de sulfuros metálicos y óxidos (notablemente calcopirita, hematita especular, esfalerita y bornita, con malaquita y azurita secundarias). El oro fino ocurre libre y dentro de sulfuros. Las leyes de oro típicamente son de 2-4 g/t con ca. 40 g/t de plata. Un adicional conducto de brecha minada en La Tigresa [ref. 6512-96446] se encuentra en la misma intrusión de granodiorita que las de La Playa. El tubo es vertical y yace en el contacto de la cúpula intrusiva y tobas de la Formación La Fortuna. Otras (probables) ocurrencias mesotermales asociadas con pods, conductos y diques de cuarzo-turmalina incluyen Uzhcurrumi [ref. 6636-96476], Paccha [ref. 6488-96045] y Selva Alegre [ref. 6736-95988].

2.3.4 Vetas mesotermales auríferas pobres en metales base con sobreimpresiones epitermales

Dos áreas mineras históricamente importantes dentro del sector de 3°-4°S de la Cordillera Occidental muestran evidencia de mineralización mesotermal y epitermal coexistente. En Zaruma-Portovelo, enjambres de vetas auríferas con orientación N-S ocurren dentro de stocks de riolita y andesitas circundantes. La Misión Belga (1989) reconoció dos fases de mineralización, la primera caracterizada por Au más sulfuros de metales base (pirita, calcopirita, esfalerita, galena, bornita, covelina) con temperaturas de deposición de 320-380°C. Una fase posterior de temperatura más baja es pobre en metales base con contenido alto de Au no refractario. La ausencia de alunita y la presencia de adularia en las rocas de caja sugieren un carácter de baja sulfuración. Van Thournout et al. (1991) han sugerido que la alteración propilítica en la región de Zaruma-Portovelo está limitada a una zona circular, de aproximadamente 9 km de diámetro, posiblemente relacionada con un antiguo centro eruptivo. Por lo tanto, las dos fases distintas de mineralización se interpretan como eventos precaldera y postcaldera. En Bella Rica-Tres Ranchos, las vetas mesotermales ocurren dentro de la Unidad Pallatanga en el noroeste del área cartografiada. La pirita diseminada y los stockworks de pirita son comunes en una zona de extensa alteración propilítica. La mineralización más importante se encuentra en la concesión Bella Rica [por ejemplo, ref. 6448-96588], un sistema de vetas con orientación NNW de unos 3 km de longitud, con un ancho conocido de 400 m. El ensamble metalífero incluye pirita, pirrotina, arsenopirita, esfalerita, galena y hematita. El oro visible es raro.

2.3.5 Sulfuros masivos exhalativos

La mineralización rica en sulfuros al oeste de San Fernando [ref. 6886-96558] fue perforada durante una investigación de reconocimiento al noreste de la investigación (UNDP, 1969) e interpretada como de carácter exhalativo de baja temperatura.

3. PROCEDIMIENTOS DE MUESTRO Y ANALÍTICOS

3.1 Sistema de numeración

Se implementó un sistema de numeración aleatorio basado en el de Plant (1973) y Garrett (1983) en todo el estudio geoquímico de la Cordillera Occidental para evitar fronteras de campaña inducidas analíticamente (dentro o entre las áreas de los mapas) y/o la generación de anomalías espurias de múltiples muestras. Antes de muestrear el área del proyecto, se numeraron de manera secuencial y aleatoria varios miles de bolsas para muestras, y se entregaron a los equipos de muestreo. A su regreso al laboratorio de CODIGEM, todas las bolsas llenas de muestras fueron reordenadas y enviadas para su análisis en lotes secuenciales de aproximadamente 120 muestras. A través de este procedimiento, las fluctuaciones analíticas a corto plazo (que afectan uno o más lotes de muestras) se manifiestan como ruido analítico en toda el área del proyecto, en lugar de tendencias discretas locales o subregionales.

3.2 Procedimiento de muestreo de campo

Las muestras de sedimentos fluviales fueron recolectadas por dos equipos de muestreo, cada uno compuesto por ocho prospectores capacitados. Las muestras se recolectaron durante cinco comisiones, cada una con una duración de tres semanas, en condiciones de temporada seca (mayo a diciembre). Se recolectaron un total de 2390 muestras en un área de aproximadamente 6200 km², representando una resolución promedio de 1 muestra por 2.59 km². En todos los casos, se enfatizó la recuperación de muestras de drenajes de primer o segundo orden, limitando así áreas de procedencia relativamente pequeñas.

La metodología de muestreo implementada en todo el estudio de la Cordillera Occidental se derivó de la de Plant y Moore (1979), y cumple ampliamente con el protocolo global IGCP 259/360 para el Mapeo Geoquímico Internacional (Darnley et al., 1995). Las estaciones de muestreo se ubicaron río arriba de fuentes potenciales de perturbación (viviendas, actividad industrial, descargas agrícolas o estructuras de puente). En cada sitio, se recolectaron varios kilogramos de sedimento del canal activo después de eliminar el horizonte interfacial enriquecido en hidróxidos. Luego, el aluvión se tamizó en húmedo a través de una malla 80 BSI (177 µm) usando un volumen mínimo de agua para evitar la pérdida de fracciones de limo y arcilla. Después de un período de sedimentación de aproximadamente 20 minutos, se decantó el agua clara que cubría el sedimento y se transfirieron aproximadamente 100 g del sedimento restante a una bolsa Kraft prenumerada para su transporte y almacenamiento.

La selección de una fracción sedimentaria de 80 BSI para usarla en todo el estudio se basó en un estudio de orientación realizado por Dunkley et al. (1997) en la cuenca del Río Junín. Esta fracción refleja efectivamente las firmas de dispersión mecánica e hidromórfica (por ejemplo, Williams et al., 1992) y evita el problema logístico de recolectar una masa suficiente de material más fino (100 BSI o más pequeño) de los sistemas de drenaje de alta energía que caracterizan gran parte del terreno más elevado de la Cordillera Occidental.

3.3 Preparación de muestras

Al regresar del campo, todas las muestras se secaron al aire a <40°C para evitar la pérdida de Hg u otros elementos volátiles. Posteriormente, las muestras se desagregaron con un mortero y pilón previamente lavados para obtener un polvo fino y homogéneo. Este polvo se submuestreó utilizando una técnica de cono y cuarteo para producir una cantidad de aproximadamente 50 g para el análisis multi-elemental.

3.4 Análisis

Los análisis químicos de los sedimentos se realizaron en los laboratorios de Bondar Clegg Ltd. en Vancouver utilizando cuatro métodos independientes.

3.4.1 Oro

Las muestras de 30 g se analizaron para Au mediante ensayo al fuego con la determinación posterior del producto fundido por espectrofotometría de absorción atómica (AAS).

3.4.2 Cationes mayores y traza

Un conjunto de 34 cationes mayores y traza (Ag, Cu, Pb, Zn, Mo, Ni, Co, Cd, Bi, As, Sb, Fe, Mn, Te, Ba, Cr, V, Sn, W, La, Al, Mg, Ca, Na, K, Sr, Y, Ga, Li, Nb, Sc, Ta, Ti, Zr) se determinó simultáneamente por espectroscopía de emisión con plasma acoplado inductivamente (ICP-AES) después de la digestión de alícuotas de 1.0 g en 100 ml de aqua regia (ARISTAR). El uso de aqua regia en lugar de un método de disolución total basado en HF refleja las mejores respuestas pico/fondo a la mineralización obtenidas durante los estudios de orientación realizados por la Misión Geológica Británica en Junín (Dunkley et al., 1997).

3.4.3 Metaloides

Debido a la baja resolución (5 mg/kg en sólido) de los análisis de metaloides por ICP-AES, se obtuvieron datos adicionales para As y Sb mediante AAS con generación de hidruros. Un sistema de introducción por inyección en flujo (FIA) de Nakashima (1979) facilitó la reducción de As a arsina e inyección simultánea en la cámara de aspiración mediante la fusión de un flujo de NaBH_2 al 0.2% con el portador de muestra.

3.4.4 Mercurio

El mercurio total se determinó por AAS de vapor frío (CV-AAS) después de la digestión en aqua regia de alícuotas de sedimento de 1.0 g bajo reflujo caliente.

4. CONTROL DE CALIDAD

4.1 Varianza del muestreo

Para 31 elementos, la varianza estadística atribuible a la heterogeneidad del sedimento en el sitio y/o sesgo de muestreo se calculó para toda el área de estudio de la Cordillera Occidental utilizando una técnica modificada de análisis de varianza (ANOVA) (Plant et al., 1975). Se analizaron muestras duplicadas de sedimentos adquiridas mediante muestreo repetido de sitios de drenaje seleccionados (con una frecuencia máxima de 2 por cada 100) y los resultados se utilizaron para determinar la varianza de muestreo utilizando la técnica de sumas de cuadrados (Bolviken y Sinding-Larsen, 1973). En casos donde ambas duplicadas de un sitio único arrojaron valores por debajo del límite de detección, el registro se excluyó del cálculo. Se proporcionan estadísticas resumidas en la Tabla 1. No se citan pruebas estadísticas F, ya que los datos no satisfacen completamente las asunciones del análisis ANOVA convencional. Es importante destacar que los datos de varianza de muestreo se derivan de la determinación *analítica* de duplicados en campo. Por lo tanto, los valores asumen importancia interpretativa solo cuando superan el umbral correspondiente de precisión analítica.

Tabla 1. Datos de varianza del muestreo, basados en el análisis ANOVA de muestras duplicadas de estaciones de campo seleccionadas dentro del área de estudio de la Cordillera Occidental.

Elemento	%varianza	Elemento	%varianza	Elemento	%varianza	Elemento	%varianza
Ag	7.1	Sn	15.2	As	3.1	Ga	11.6
Cu	3.1	W	21.7	Sb	6.9	Y	21.2
Pb	7.1	La	4.3	Fe	6.6	Nb	15.4
Zn	4.7	Al	3.6	Mn	7.1	Sc	16.0
Mo	25.0	Mg	7.1	Bi	17.5	Ti	4.4
Ni	12.4	Ca	12.5	Ba	3.2	Zr	12.1
Co	3.5	Na	12.2	Cr	9.3	Hg	21.7
Cd	4.2	K	9.4	V	4.9		

4.2 Precisión analítica

La precisión (p) es un índice de la reproducibilidad de las determinaciones analíticas definido convencionalmente como:

$$p = \left(\frac{2s}{x} \right) * 100\%$$

El término es distinguible de la exactitud, que refleja la relación entre una determinación individual o grupo de determinaciones y la verdadera composición de la matriz. En exploración, los índices de precisión analítica son críticos ya que proporcionan una visión de la intercomparabilidad de los datos para muestras individuales o lotes de muestras.

Los datos de precisión analítica para los cuadrángulos 3°-4°S y 2°-3°S se derivaron de dos ejercicios estadísticos basados en el análisis duplicado de alícuotas de sedimento homogeneizado (Plant et al., 1975; Thompson y Howarth, 1978). El primero implicó el cálculo de la variación de la desviación estándar (s_c) a través de un rango de concentración empíricamente definido (c) de acuerdo con la función lineal:

$$s_c = s_0 + kc$$

donde s_0 es la desviación estándar en concentración cero y k es la pendiente de la línea recta. Los valores de s_0 y k se obtuvieron mediante:

- (i) Determinación de la media $\frac{x^1+y^1}{2}$ y el valor de diferencia absoluta (x^1-y^1) para todos los pares duplicados.
- (ii) Clasificación de los pares duplicados por media ascendente.
- (iii) Cálculo de la “media de medias” y la “mediana de diferencias” para grupos discretos de 11 pares duplicados (8 grupos = 88, con 3 descartados).
- (iv) Regresión de los valores de la mediana contra los valores de media determinados en (iii) para obtener s_0 (intersección) y k (pendiente).

El segundo método utilizó una serie de gráficos de control de precisión en los cuales se trazaron líneas de concordancia del percentil 90 y 99 para uno o más niveles de precisión predefinidos. Los umbrales de precisión prácticamente aceptables definidos por este último método, y aplicados sistemáticamente al control de calidad de los resultados analíticos para el cuadrángulo 3°-4°S, han sido reportados por Dunkley y Gaibor (1997a) y se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Umbrales de precisión para elementos seleccionados aplicados para el control de calidad de datos analíticos para el cuadrángulo Cordillera Occidental 3°-4°S (de Dunkley y Gaibor, 1997a)

Elemento	%varianza	Elemento	%varianza
Ag	25	As	5
Cu	20	Sb	10
Pb	40	Mn	15
Zn	20	Fe	15
Mo	25	V	40
Ni	10	Sr	25
Co	15	Cd	15
Ba	20	Li	15
Cr	10	Bi	20

4.3 Estándares de control

4.3.1 Estándares de control del PICG

Tres estándares de control derivados de sedimentos fluviales dentro del área del proyecto (Río Junín, J-1; Río Angamarca, COR-1; muestra híbrida, M-1) fueron caracterizados en los laboratorios del Reino Unido del British Geological Survey mediante una combinación de espectroscopía de emisión con plasma acoplado inductivamente (ICP-AES), espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) y fluorescencia de rayos X (XRF) al inicio del estudio de la Cordillera Occidental (Tabla 3). Con excepción de J-1, que contiene concentraciones anómalas de Cu (> percentil 95 del conjunto de datos 3°-4°S), además de As y Sb moderadamente altos, estos estándares tienen concentraciones de fondo de la mayoría de los elementos de interés económico.

Durante el análisis de muestras del área 3°-4°S, se introdujeron estándares de control adicionales derivados de localidades mineralizadas en Ponce Enríquez (PE), Cerro Negro (CN) y una mezcla de estos con muestras de fondo más bajo (M-2). Los análisis repetidos realizados por Bondar Clegg muestran que el estándar de Ponce Enríquez es altamente anómalo con respecto a una serie de metales/metaloideos, incluyendo As (media de 1476 mg/kg), Cu (media de 1062 mg/kg) y Au (media de 2.62 mg/kg). El estándar de Cerro Negro está fuertemente enriquecido en Cu (media de 398 mg/kg), Pb (125 mg/kg), Mo (44 mg/kg) y Sb (289 mg/kg) en relación con el conjunto de datos empíricos para el área 3°-4°S.

Tabla 3. Certificación del BGS de los estándares de control J-1, COR-1 y M-1, basada en la media del análisis por múltiples técnicas

Elemento	Valor BGS (ppm)			Elemento	Valor BGS (ppm)		
	J-1	COR-1	M-1		J-1	COR-1	M-1
Ag	<0.2	<0.2	<0.2	As	12.5	5.0	7.0
Cu	175	23	79.5	Sb	3.3	0.6	1.4
Pb	3.5	5.0	7.0	Mn	468	375	413
Zn	61	43	50.5	Fe (%)	4.9	8.1	7.0
Mo	1.6	0.5	1.0	V	150	293	226
Ni	10.5	18.5	14.0	Sr	28.5	61.0	48.0
Co	10.7	14.8	12.9	Cd	ND	1.0	0.5
Ba	74	64.5	73	Li	5.9	6.0	5.5
Cr	44.5	82.0	65.0				

Dos submuestras de tres o más estándares de control fueron enviadas a ciegas a Bondar Clegg con cada lote de 120 muestras de campo. Los datos resultantes proporcionaron una base para evaluar (i) la precisión instrumental y (ii) la deriva temporal. Esta última fue evaluada de manera independiente a la precisión (4.2 arriba) ya que comúnmente implica un ajuste sistemático, susceptible de corrección. Los datos analíticos de todos los estándares de control de la Cordillera Occidental son reportados por Williams et al. (1997).

El impacto de la deriva sistemática instrumental en el conjunto de datos 3°-4°S de la Cordillera Occidental fue evaluado utilizando gráficos convencionales de series temporales, como se ejemplifica en las Figs. 3-4. En casos raros en los que los valores de los estándares de control se desviaron simultáneamente en más de 2 desviaciones estándar de la media, se aplicó una corrección apropiada. Ejemplos existen en los datos de series temporales mostrados para Zn, en los cuales los valores de los estándares enviados con los lotes analíticos 22-24 están sistemáticamente deprimidos.

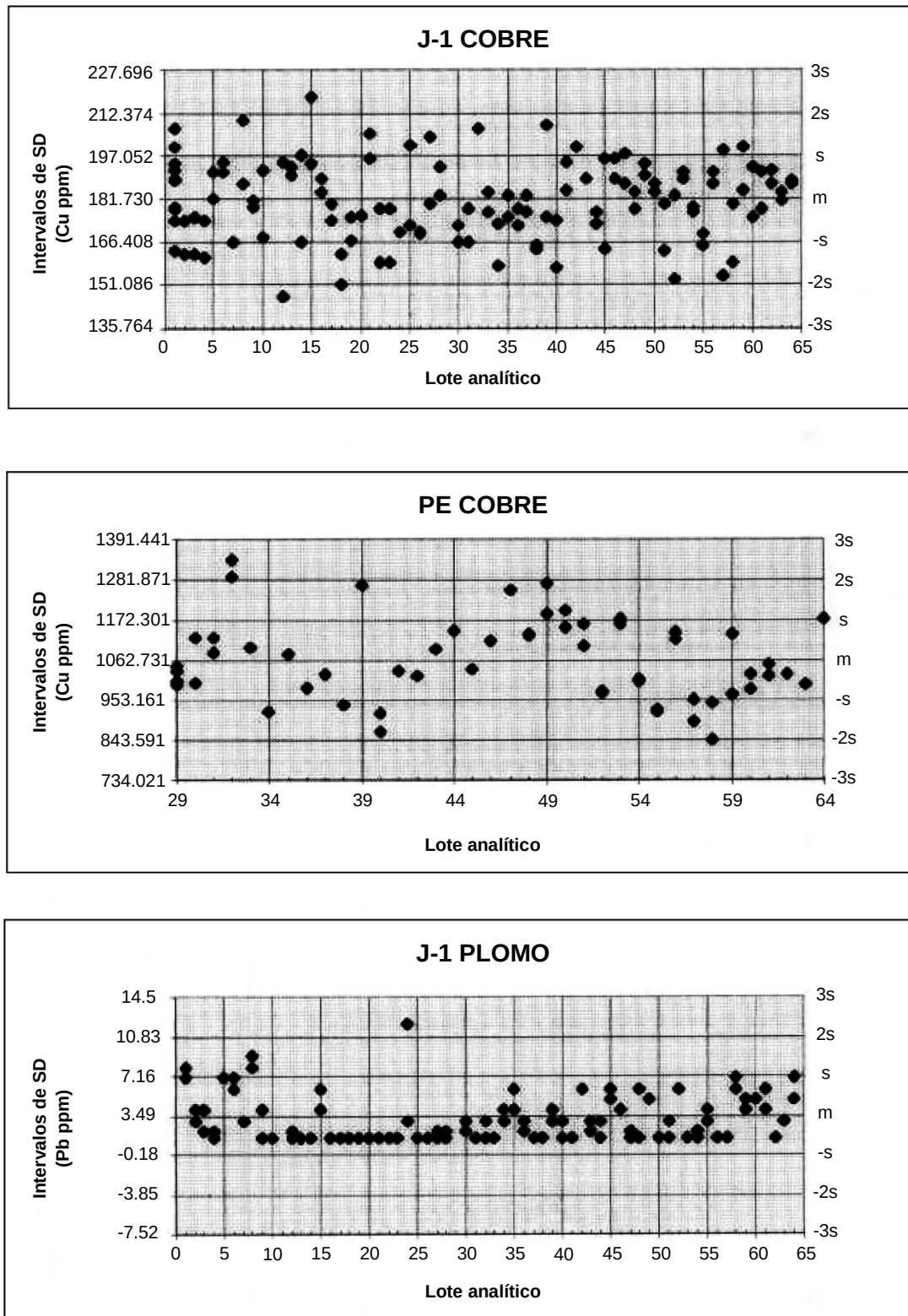


Figura 3. Gráficos de series temporales de control del Cobre y Plomo que muestran los resultados de análisis replicados de pares duplicados simultáneos de sedimentos de referencia ecuatorianos. La corrección del conjunto de datos empíricos se aplica bajo PICG solo en casos donde AMBAS muestras dentro de un par duplicado se desvían de la media por $>2DS$ para cualquier lote individual de muestras.

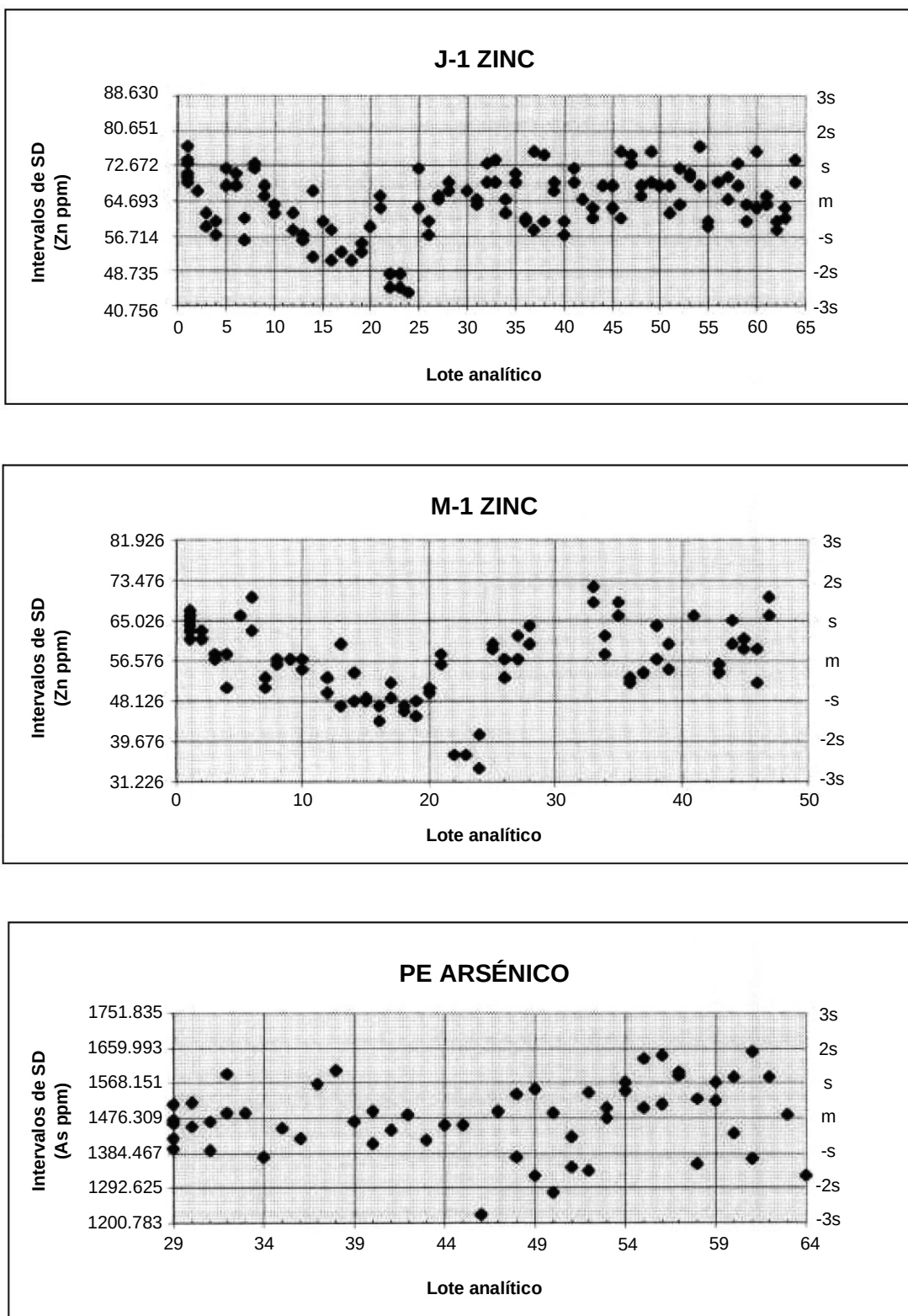


Figure 4. Gráficos de series temporales de control del Zinc y Arsénico que muestran los resultados de análisis replicados de pares duplicados simultáneos de sedimentos de referencia ecuatorianos. La corrección del conjunto de datos empíricos se aplica bajo PICG solo en casos donde AMBAS muestras dentro de un par duplicado se desvían de la media por $>2DS$ para cualquier lote individual de muestras. Se proporciona un ejemplo con los datos de Zn para los lotes 22-24.

4.3.2 Estándares de control del BGS

Además de los estándares de control del proyecto, los estándares de referencia BGS S13, S15, S24 y S3B fueron enviados para análisis por Bondar Clegg. Estos estándares fueron derivados de sedimentos de fluviales de malla 100 BSI de terrenos británicos geológicamente variados. Todos han sido analizados en varios laboratorios europeos mediante una combinación de métodos XRF, AAS, ICP-AES, ICP-MS y DRES. Se proporcionan comparaciones interlaboratorios para estas muestras por Williams et al. (1997). Valores relativamente altos para elementos como Pb reflejan el uso por parte de BGS de una técnica analítica total (XRF) en lugar del método parcial (digestión con aqua regia) de Bondar Clegg.

4.4 Límites de detección prácticos

Con la excepción de Au, los límites de detección analíticos (LODs) proporcionados por Bondar Clegg no fueron adoptados para su uso en la validación de datos geoquímicos, ya que no tienen en cuenta las influencias de la matriz que se encuentran típicamente durante el análisis de materiales geológicos. En su lugar, los LODs prácticos para cada elemento fueron determinados utilizando dos métodos. El primero involucró el análisis repetido de muestras de referencia en un rango de concentraciones, y la regresión de la desviación estándar contra la concentración media para cada valor para obtener un valor de la desviación estándar en concentración cero (s_0). Un LOD de $3s_0$ fue calculado luego de acuerdo con UIPAC (1978). El segundo método involucró la derivación de s_0 utilizando el método de Thompson y Howarth (1978), como se describe en la sección 4.2. Los resultados de las determinaciones de LOD adquiridas utilizando ambos métodos se presentan en la Tabla 4, con el valor adoptado resaltado en cada caso.

Tabla 4. Límites analíticos de detección de Bondar Clegg y determinados de forma independiente (valores adoptados resaltados). Todos los valores están en mg/kg a menos que se indique lo contrario.

Elemento	Bondar Clegg	Método de extrapolación	Thompson y Howarth
Ag	0.2	1.0	0.9
Au	0.05	-	-
As	1	6.1	4.5
Ba	1	5.4	2.4
Bi	5	6.0	-
Cd	0.2	0.7	1.4
Cr	1	3.7	4.7
Co	1	2.6	1.9
Cu	1	4.5	11.0
Fe	0.01%	0.3%	0.6%
Hg	0.01	0.04	0.04
Li	1	1.2	1.0
Mn	1	34.0	-
Mo	1	1.35	5.0
Ni	1	3.3	2.4
Pb	2	4.0	12.0
Sb	0.2	1.9	0.74
Zn	1	5.0	15.0

5. RESULTADOS

5.1 Datos digitales

El paquete de datos digitales para el cuadrángulo 3°-4°S de la Cordillera Occidental contiene 2930 registros, cada uno con un número de muestra, datos de localización (coordenadas UTM SAD69) y resultados analíticos controlados por error para 36 elementos en formato de texto delimitado por tabuladores.

5.2 Estadísticas resumidas

En la Tabla 5 se proporcionan estadísticas descriptivas para el conjunto de datos de múltiples elementos del cuadrángulo 3°-4°S. Los datos de frecuencia acumulada indican que las poblaciones de la mayoría de los elementos están sesgadas y tienen poca propensión a análisis estadísticos no paramétricos. Los análisis de correlación de Pearson (R) de datos log-normalizados (Tabla 6) destacan la covariación espacial entre varios analitos mayores y traza. El oro muestra una fuerte covariación con Ag (R = 0.613), Cu (R = 0.657), Bi (R = 0.599), As (R = 0.645) y Sb (R = 0.515). Se considera que la utilidad de estos elementos como indicadores de oro es mucho mayor que la reportada para el sector 2°-3°S de la Cordillera Occidental (Williams et al., 1997), donde prevalecen bajas correlaciones entre Au y metaloides (R < 0.2). La presencia de varios ensambles mesotermales polimetálicos se indica por correlaciones significativas entre Pb, Zn y Cu (R = 0.443-0.926). Se registra la covariación entre un conjunto de elementos con afinidades máficas (notablemente Mg, Cr, Ni).

5.3 Distribución regional de elementos mayores y traza

5.3.1 Producción de gráficos

Los mapas geoquímicos a escala 1:200000 producidos para acompañar este informe muestran la distribución de elementos mayores y traza dentro del área 3°-4°S utilizando seis clasificadores de colores superpuestos en una base de drenajes. Superficies en malla (insertadas) fueron generadas utilizando un algoritmo de ponderación de distancia inversa (IDW) dentro del subcomponente Vertical Mapper de MapInfo, sobre los cuales se colocaron líneas geológicas (correspondientes a la litoestratigrafía simplificada mostrada en la Figura 2) en formato DXF.

5.3.2 Terrenos litogeoquímicos

Los mapas producidos para todos los elementos mayores y traza analizados muestran una excelente co-registro de litología y geoquímica de sedimentos, consistente con una dispersión hidromórfica limitada. Los principales terrenos litotectónicos están bien diferenciados, incluyendo el basamento (característicamente potásico), basaltos oceánicos de la Unidad Pallatanga (fondo de K <0.05%, Ba <40 mg/kg, niveles de Cr, Ni, Mg y V dentro del percentil superior 5 del conjunto de datos 3°-4°S) y la Unidad Sacapalca (altos fondos de Ca 0.75-2.75%; Mg ca. 0.9%). Dentro del Grupo Saraguro, la Unidad Portovelo muestra altas relaciones de Mg/Ca, con altos fondos de Cr (aprox. 35 mg/kg) y Zn (aprox. 100 mg/kg) en comparación con otras Formaciones del miembro. Las litologías riolíticas y dacíticas (por ejemplo, Formaciones Jubones y La Paz) aparecen como características negativas con respecto a estos elementos. Dentro del sector central del área mapeada, las andesitas intensamente veteadas de calcita de la Formación Santa Isabel son conspicuas, mostrando valores intermedios de Ca, Mg y V dentro del percentil superior 10 del total de los datos, y ocasionalmente altos fondos de Ni, Zn y Cr.

Debido a la heterogeneidad litogeoquímica del área 3°-4°S, la aplicación de un solo conjunto de valores de fondo, umbral y anomalía definidos estadísticamente no es adecuada como base para la exploración. La normalización litológica, utilizada previamente para el sector 2°-3°S de la Cordillera Occidental (Williams et al., 1997a), facilita la elucidación de características geoquímicas sutiles que de otra manera podrían ser difíciles de resolver. Se ha aplicado un procedimiento basado en estadísticas para la derivación de anomalías normalizadas al conjunto de datos 3°-4°S utilizando el software de procesamiento de datos de exploración Interdex (Visidata Ltd.). Se utilizó una visualización geo-registrada de puntos de muestra superpuesta por un archivo DXF de litologías poligonizadas para aislar estaciones dentro de polígonos seleccionados. Se generaron gráficos de probabilidad acumulada para elementos individuales en cada unidad, y se utilizaron inflexiones para identificar valores de umbral y anomalía dentro de la población.

Se proporcionan estadísticas resumidas para todas las principales unidades litoestratigráficas en las Tablas 7-16. Es importante destacar que varios de los polígonos utilizados para definir estas unidades incorporan intrusiones menores, inliers y outliers de litología frecuentemente contrastante. Por lo tanto, los datos estadísticos presentados en las Tablas 7-16 deben interpretarse como representativos de terrenos litotectónicos, en lugar de las unidades litoestratigráficas nombradas *sensu stricto*.

5.3.3 Oro

Los datos de probabilidad acumulada para Au dentro del área 3°-4°S (Figura 5) muestran un fondo <45 µg/kg (percentil 73), con un umbral secundario de aproximadamente 560 µg/kg (percentil 95) y varios valores anómalos fuertemente sobresalientes mayores que 1495 µg/kg (percentil 97).

Las ocurrencias de oro dentro del Río Santa Rosa (en el suroeste del área mapeada) muestran posible evidencia de una fuente de basamento, aunque los pequeños outliers del Grupo Saraguro también podrían servir como hospedantes plausibles. Las cabeceras de la cuenca cortan volcánicos intruidos del Grupo Saraguro, pero los valores de Au en drenaje en estas partes altas son rutinariamente bajos (<20 µg/kg). Cuatro estaciones con límites este y oeste de 629054-9603631 (muestra 2691) y 625715-9603977 (muestra 5862) respectivamente presentan valores de 275-1835 µg/kg Au, con enriquecimiento de Cu a 1835 mg/kg, Ag a 10.4 mg/kg, Bi a 32 mg/kg, As a 2880 mg/kg y Sb a 67 mg/kg.

El afloramiento de la Unidad Pallatanga limitado al este por Q. Mangán alberga valores de Au de hasta 443 µg/kg (muestra 4287, ref. 669071-9666579), con Cu hasta 129 mg/kg, Bi hasta 13 mg/kg y As hasta 109 mg/kg. Estas ocurrencias indican una clara asociación con stocks intrusivos menores que, a su vez, tienen un fuerte control estructural. El gran tramo Bella Rica-San Gerardo produce numerosos valores anómalos de Au, cuyos orígenes precisos están oscurecidos por la perturbación de la minería artesanal. La media para Au en este polígono (incluidas intrusiones menores) es de 819 µg/kg, con una mediana superior a 100 µg/kg. En el sistema Estero Guanache, se registran cuatro valores superiores a 3000 µg/kg de Au (sitios 788, 30, 657, 744) aguas abajo del pórfido Gaby. La estación 744 [ref. 642324-9661716], a menos de 1 km de Gaby, produce 9351 µg/kg Au, 17.3 mg/kg Ag, 4264 mg/kg Cu, 1832 mg/kg Pb, 105 mg/kg Bi, 10000 mg/kg As, 113 mg/kg Sb y 1.3 mg/kg Hg. Tales valores son influenciados adicionalmente por la explotación de enjambres de vetas mesotermales de orientación NNW en Bella Rica hacia el sureste. En el sistema Río Blanco-Río Negro, se encuentran 4 valores de 1389-2776 µg/kg Au (sitios 628, 878, 278, 977) aguas abajo de operaciones artesanales, con enriquecimiento de Cu hasta 2478 mg/kg, Bi a 60 mg/kg y As a 540 mg/kg. Las minas en el distrito de San Gerardo producen valores de hasta 8675 µg/kg Au, con hasta 6138 mg/kg As, 306 mg/kg Sb, 33 mg/kg Cd y 3.2 mg/kg Hg cerca del margen de un stock de diorita en el Río Chico con dirección NW. Se indica un ensamble de temperatura más baja en comparación con aquel predominante en el bloque Bella Rica, con una presencia notablemente menor de Cu, alto Cd y Sb.

Tabla 5. Datos geoquímicos para el área 3°-4°S de la Cordillera Occidental. Estadísticas resumidas.

	Estaciones	Media	Des. Est.	Mín	Máx	Mediana
Au	2390	139.205	723.032	3.33	10000*	3.33
Ag	2390	1.092	3.711	0.66	87	0.66
Cu	2390	108.866	835.057	3	20000*	20
Pb	2390	38.605	196.657	2.66	6732	17
Zn	2390	116.992	292.839	3.33	8516	80.78
Mo	2390	8.539	136.806	0.9	4458	0.9
Ni	2390	15.589	32.387	2.2	850.5	9
Co	2390	14.409	16.277	1.73	462.037	12
Cd	2390	1	4.934	0.46	137.1	0.46
Bi	2390	5.042	7.383	4	203.5	4
Fe	2390	4.022	1.704	0.33	10*	3.81
Mn	2390	831.126	444.884	41	11890	775.5
Te	2390	7.009	4.452	6.66	169.5	6.66
Ba	2390	157.007	96.68	3	1333	136
Cr	2390	31.648	39.671	2.46	854.5	22
V	2390	93.147	64.711	2	747.5	77
Sn	2390	13.48	1.708	13.33	56	13.33
W	2390	14.538	27.457	13.33	844.5	13.33
La	2390	11.857	7.383	0.66	103	11
Al	2390	2.939	1.11	0.19	9.48	2.83
Mg	2390	0.671	0.401	0.007	4.02	0.65
Ca	2390	0.57	0.672	0.007	10*	0.41
Na	2390	0.029	0.034	0.007	0.4	0.02
K	2390	0.121	0.093	0.007	1.14	0.09
Sr	2390	44.011	40.96	-1	308	32
Y	2390	7.404	3.35	0.66	35	7
Ga	2390	5.01	3.625	1.33	36	4.5
Li	2390	13.26	8.286	0.8	61	12
Nb	2390	2.3	2.758	0.66	51	1
Sc	2390	5.796	3.46	3.33	36	5
Ta	2390	6.869	3.623	6.66	146.33	6.66
Ti	2390	0.085	0.067	0.007	0.58	0.07
Zr	2390	3.717	4.202	0.66	37	2
As	2390	76.103	544.178	2.66	10000*	12.1
Sb	2390	4.956	45.134	1.26	2000*	1.26
Hg	2390	0.251	2.056	0.026	50*	0.056

Tabla 6. Datos geoquímicos para el área 3°-4°S del PICG. Matriz de correlación de Pearson

	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Mo	Ni	Cd	Bi	Fe	Mn	Te	Ba	Cr	V	Sn	W	Al	Mg	Ca	K	Sr	Y	Li	Ti	Zr	As	Sb	Hg
Au	1.000	0.613	0.657	0.354	0.323	0.457	0.125	0.453	0.599	0.267	0.019	0.355	-0.148	0.083	0.007	0.074	0.154	-0.119	0.064	0.019	-0.044	-0.115	-0.051	-0.062	-0.062	-0.070	0.645	0.516	0.171
Ag	0.613	1.000	0.771	0.774	0.742	0.494	0.008	0.628	0.755	0.253	0.046	0.314	-0.127	-0.027	-0.052	0.147	0.211	-0.143	-0.045	-0.040	-0.030	-0.090	-0.069	-0.056	-0.094	-0.050	0.401	0.502	0.078
Cu	0.657	0.771	1.000	0.502	0.443	0.775	0.026	0.470	0.614	0.274	0.026	0.335	-0.129	-0.006	-0.022	0.127	0.175	-0.131	-0.029	-0.034	-0.028	-0.086	-0.052	-0.072	-0.069	-0.048	0.405	0.413	0.080
Pb	0.354	0.774	0.502	1.000	0.926	0.092	0.011	0.756	0.665	0.204	0.073	0.435	-0.106	-0.018	-0.027	0.234	0.014	-0.083	-0.027	-0.045	-0.039	-0.079	-0.050	-0.017	-0.071	-0.040	0.418	0.158	0.054
Zn	0.323	0.742	0.443	0.926	1.000	0.020	0.011	0.741	0.641	0.251	0.154	0.346	-0.122	-0.001	0.021	0.200	0.003	-0.050	0.016	-0.037	-0.043	-0.074	-0.025	0.025	-0.024	-0.027	0.344	0.118	0.054
Mo	0.457	0.494	0.775	0.092	0.020	1.000	-0.010	0.027	0.206	0.150	0.015	0.010	-0.059	-0.033	-0.042	-0.001	0.107	-0.095	-0.064	-0.018	0.003	-0.042	-0.031	-0.058	-0.052	-0.037	0.104	0.650	0.066
Ni	0.125	0.008	0.026	0.011	0.011	-0.010	1.000	0.045	0.043	0.202	0.056	0.051	-0.179	0.836	0.121	0.033	-0.010	0.066	0.581	0.014	0.053	-0.147	0.064	0.102	0.118	-0.065	0.136	0.029	0.092
Cd	0.453	0.628	0.470	0.756	0.741	0.027	0.045	1.000	0.714	0.202	0.056	0.618	-0.110	0.014	-0.003	0.283	0.004	-0.076	0.033	0.001	-0.045	-0.072	-0.049	-0.024	-0.058	-0.038	0.644	0.182	0.059
Bi	0.599	0.755	0.614	0.665	0.641	0.206	0.043	0.714	1.000	0.292	0.020	0.703	-0.141	0.003	0.018	0.345	0.082	-0.117	0.008	-0.047	-0.062	-0.104	-0.087	-0.058	-0.072	-0.055	0.653	0.315	0.076
Fe	0.267	0.253	0.274	0.204	0.251	0.150	0.202	0.202	0.292	1.000	0.317	0.173	-0.315	0.385	0.752	0.092	0.106	0.279	0.389	0.019	-0.121	-0.117	0.089	0.115	0.368	0.069	0.206	0.157	0.028
Mn	0.019	0.046	0.026	0.073	0.154	0.015	0.056	0.056	0.020	0.317	1.000	-0.015	0.149	0.087	0.220	0.009	-0.019	0.182	0.193	0.141	-0.103	0.106	0.262	0.107	0.122	0.043	-9.131×10^{-5}	0.013	0.003
Te	0.355	0.314	0.335	0.435	0.346	0.010	0.051	0.618	0.703	0.173	-0.015	1.000	-0.091	0.002	0.042	0.475	0.003	-0.081	0.023	-0.007	-0.056	-0.043	-0.050	-0.046	-0.007	-0.027	0.637	0.114	0.049
Ba	-0.148	-0.127	-0.129	-0.106	-0.122	-0.059	-0.179	-0.110	-0.141	-0.315	0.149	-0.091	1.000	-0.212	-0.130	-0.056	-0.025	0.056	-0.266	0.043	0.200	0.471	0.095	-0.203	-0.009	0.246	-0.123	-0.070	-0.019
Cr	0.083	-0.027	-0.006	-0.018	-0.001	-0.033	0.836	0.014	0.003	0.385	0.087	0.002	-0.212	1.000	0.355	0.041	-0.017	0.160	0.627	0.004	0.075	-0.177	0.097	0.135	0.262	-0.054	0.066	0.001	0.053
V	0.007	-0.052	-0.022	-0.027	0.021	-0.042	0.121	-0.003	0.018	0.752	0.220	0.042	-0.130	0.355	1.000	0.023	-0.005	0.189	0.307	0.136	-0.132	0.145	-0.032	-0.092	0.665	0.318	0.016	-0.027	0.006
Sn	0.074	0.147	0.127	0.234	0.200	-0.001	0.033	0.283	0.345	0.092	0.009	0.475	-0.056	0.041	0.023	1.000	0.016	0.020	0.021	-0.027	-0.013	-0.055	-0.058	-0.003	0.001	-0.036	0.175	0.037	0.021
W	0.154	0.211	0.175	0.014	0.003	0.107	-0.010	0.004	0.082	0.106	-0.019	0.003	-0.025	-0.017	-0.005	0.016	1.000	-0.048	-0.007	-0.025	0.027	0.034	0.042	-0.030	-0.027	-0.029	0.038	0.091	0.003
Al	-0.119	-0.143	-0.131	-0.083	-0.050	-0.095	0.066	-0.076	-0.117	0.279	0.182	-0.081	0.056	0.160	0.189	0.020	-0.048	1.000	0.273	-0.034	-0.019	0.015	0.198	0.295	0.229	0.209	-0.099	-0.076	-0.007
Mg	0.064	-0.045	-0.029	-0.027	0.016	-0.064	0.581	0.033	0.008	0.389	0.193	0.023	-0.266	0.627	0.307	0.021	-0.007	0.273	1.000	0.280	0.200	0.013	0.133	0.383	0.249	-0.111	0.082	-0.018	0.026
Ca	0.019	-0.040	-0.034	-0.045	-0.037	-0.018	0.014	0.001	-0.047	0.019	0.141	-0.007	0.043	0.004	0.136	-0.027	-0.025	-0.034	0.280	1.000	-0.004	0.536	0.122	-0.049	0.119	0.223	0.034	0.006	-0.004
K	-0.044	-0.030	-0.028	-0.039	-0.043	0.003	0.053	-0.045	-0.062	-0.121	-0.103	-0.056	0.200	0.075	-0.132	-0.013	0.027	-0.019	0.200	-0.004	1.000	0.025	0.212	0.365	0.023	-0.222	-0.047	-0.008	-0.061
Sr	-0.115	-0.090	-0.086	-0.079	-0.074	-0.042	-0.147	-0.072	-0.104	-0.117	0.106	-0.043	0.471	-0.177	0.145	-0.055	0.034	0.015	0.013	0.536	0.025	1.000	0.019	-0.217	0.229	0.472	-0.082	-0.057	-0.003
Y	-0.051	-0.069	-0.052	-0.050	-0.025	-0.031	0.064	-0.049	-0.087	0.089	0.262	-0.050	0.095	0.097	-0.032	-0.058	0.042	0.198	0.133	0.122	0.212	0.019	1.000	0.339	-0.003	0.017	-0.038	-0.041	-0.050
Li	-0.062	-0.056	-0.072	-0.017	0.025	-0.058	0.102	-0.024	-0.058	0.115	0.107	-0.046	-0.203	0.135	-0.092	-0.003	-0.030	0.295	0.383	-0.049	0.365	-0.217	0.339	1.000	-0.092	-0.333	-0.056	-0.046	-0.032
Ti	-0.062	-0.094	-0.069	-0.071	-0.024	-0.052	0.118	-0.058	-0.072	0.368	0.122	-0.007	-0.009	0.262	0.665	0.001	-0.027	0.229	0.249	0.119	0.023	0.229	-0.003	-0.092	1.000	0.562	-0.067	-0.055	0.039
Zr	-0.070	-0.050	-0.048	-0.040	-0.027	-0.037	-0.065	-0.038	-0.055	0.069	0.043	-0.027	0.246	-0.054	0.318	-0.036	-0.029	0.209	-0.111	0.223	-0.222	0.472	0.017	-0.333	0.562	1.000	-0.043	-0.040	0.022
As	0.645	0.401	0.405	0.418	0.344	0.104	0.136	0.644	0.653	0.206	-9.131×10^{-5}	0.637	-0.123	0.066	0.016	0.175	0.038	-0.099	0.082	0.034	-0.047	-0.082	-0.038	-0.056	-0.067	-0.043	1.000	0.294	0.068
Sb	0.516	0.502	0.413	0.158	0.118	0.650	0.029	0.182	0.315	0.157	0.013	0.114	-0.070	0.001	-0.027	0.037	0.091	-0.076	-0.018	0.006	-0.008	-0.057	-0.041	-0.046	-0.055	-0.040	0.294	1.000	0.064
Hg	0.171	0.078	0.080	0.054	0.054	0.066	0.092	0.059	0.076	0.028	0.003	0.049	-0.019	0.053	0.006	0.021	0.003	-0.007	0.026	-0.004	-0.061	-0.003	-0.050	-0.032	0.039	0.022	0.068	0.064	1.000

2390 observaciones fueron usadas en el cálculo

Sobre el Grupo Saraguro, se encuentran valores altos de Au principalmente en el área Zaruma-Portovelo, al oeste de la supuesta Caldera de Jubones (Pratt et al., 1997), y en el Cinturón de Gañarín entre San Fernando y San Sebastián. En Zaruma, se registran varios valores superiores a 1000 µg/kg Au en el sistema Río Salado-Río Calera, que fluye hacia el sur y es subparalelo al contacto intruido de andesitas de la Unidad Portovelo y rocas indiferenciadas del Grupo Saraguro. En el sitio 3651 [ref. 650514-9598121], se registra un valor de 3835 µg/kg Au con un enriquecimiento asociado de Pb (334 mg/kg), Cu (336 mg/kg), Cd (6.7 mg/kg) y As (397 mg/kg), ubicado a unos 2 km al este de Muluncay y 200 m al norte de un pequeño emplazamiento de riolita. En la estación 6041 [ref. 694590-9598008], se registra un valor de 9446 µg/kg Au con 48 mg/kg Ag, 5472 mg/kg Cu, 664 mg/kg Pb, 2156 mg/kg Zn, 21 mg/kg Cd, 121 mg/kg Bi y 520 mg/kg As, probablemente relacionado con ensambles polimetálicos mesotermales nuevamente asociados con el emplazamiento de un stock de riolita menor. A varios kilómetros al oeste del Río Calera, se registra una anomalía de Au de 6798 µg/kg con >50 mg/kg Hg en el sistema Q. Honda que fluye hacia el sur (muestra 6227, ref. 655585-9594969).

Rocas del Grupo Saraguro indiferenciado al oeste de la Caldera de Jubones (Pratt et al., 1997) albergan numerosas anomalías de Au, principalmente atribuibles a mineralización documentada. En Tres Chorreras, el límite norte de la mineralización está marcado por un valor de Au de 9561 µg/kg (sitio 813, ref. 663781-9649831) en el Río Gigantes que fluye hacia el SSW, con un halo de alteración caracterizado por turmalina diseminada. El ensamble anómalo incluye 931 mg/kg Cu, 87 mg/kg Mo, 222 mg/kg As y 3.2 mg/kg Sb. Aproximadamente 1500 m más al sur (cerca del “agujero de gloria” de la parte superior de Tres Chorreras), valores de 7520-9292 µg/kg Au están acompañados por concentraciones marcadamente más altas de Au (>50 mg/kg), hasta 2% Cu, 4458 mg/kg Mo, 2388 mg/kg As, 60 mg/kg Bi, 2000 mg/kg Sb y 4.4 mg/kg Hg (por ejemplo, sitio 1714, ref. 663959-9649821; sitio 988, ref. 663356-9648122). Las concentraciones más altas de Cu y Mo coinciden con un contacto de toba brechada y microdiorita, caracterizado por una alteración argílica intensa y abundante pirita diseminada. Se indica una mineralización análoga al suroeste de Tres Chorreras por concentraciones de Au de hasta 3837 µg/kg con altas concentraciones de Cu y Mo en estaciones en el Río Gigantes y drenaje tributario (sitio 190, ref. 660295-9644770; sitio 326, ref. 659775-9645029), cerca del prospecto Gigantones.

La mineralización polimetálica en La Playa (12 km al suroeste de Tres Chorreras) está asociada con una serie de conductos de brechas orientados NW, y destacada por una anomalía de drenaje en el Río Las Juntas (sitio 303, ref. 651549-9640288) cerca del contacto del Grupo Saraguro con la intrusión de granodiorita que alberga las brechas mineralizadas. Se registra una concentración de 2140 µg/kg Au dentro del ensamble rico en Cu-Mo-Bi-As-Sb. El fuerte enriquecimiento de W (778 mg/kg) es consistente con la presencia de scheelita (Pratt et al., 1997). Aproximadamente 6 km al sur de La Playa, una firma de drenaje análoga (3415 µg/kg Au, 24 mg/kg Ag, 3353 mg/kg Cu, 171 mg/kg Mo, 20 mg/kg Bi, 844 mg/kg W, 569 mg/kg As, 38 mg/kg Sb) ilustra una mineralización adicional asociada con una intrusión de granodiorita independiente cerca de Mollepungu (sitio 304, ref. 651435-9637102).

Se registró una concentración de Au superior al límite analítico de 10000 µg/kg en la estación 180 [ref. 657523-9638731] en una zona de andesitas porfídicas intruidas en el sistema Río Vivar, 5 km al sur de las obras de La Chorrera. El sitio se caracteriza por un fuerte enriquecimiento de Cu (17470 mg/kg) y Mo (2169 mg/kg), además de As, Sb y Hg.

Los prospectos en el Cinturón Gañarín con orientación NNE se destacan variablemente por anomalías de Au en el drenaje. Ejemplos notables ocurren en el Río Naranjo al este de Cañaribamba (sitio 1914, ref. 688215-9644903) donde se registran valores de 3046 µg/kg Au y 9.6 mg/kg Ag en un ensamble pobre en metales base. Cerca del prospecto Gañarín, se registró un valor de 1045 µg/kg Au en un ensamble similarmente pobre en metales base en el sistema Río Minas (sitio 518, ref. 680680-9635202).

Las secuencias volcánicas post-Saraguro presentan pocas anomalías de drenaje de Au y típicamente tienen un fondo bajo. En las cercanías de Quimsacocha, se destaca la mineralización aurífera con una modesta respuesta de drenaje en Q. Quinuahuaycu (Au 266 $\mu\text{g/kg}$) en el margen occidental de la caldera.

Relativamente pocas anomalías pronunciadas de Au ocurren dentro de los principales tramos intrusivos del área de 3°-4°S. La más conspicua está cerca de Paccha (sitio 3714, ref. 648821-9605120), donde una concentración de 5749 $\mu\text{g/kg}$ de Au coincide con un intenso enriquecimiento de una amplia gama de metales (54 mg/kg Ag, 10000 mg/kg Cu, 4210 mg/kg Pb, 5727 mg/kg Zn, 137 mg/kg Cd, 203 mg/kg Bi, 53 mg/kg Sn, 10000 mg/kg As, 168 mg/kg Sb, 5.5 mg/kg Hg). La mineralización en asociación con uno o más conductos de brechas de turmalina mineralizadas dentro del complejo de hospedantes granodioríticos constituye la fuente observada.

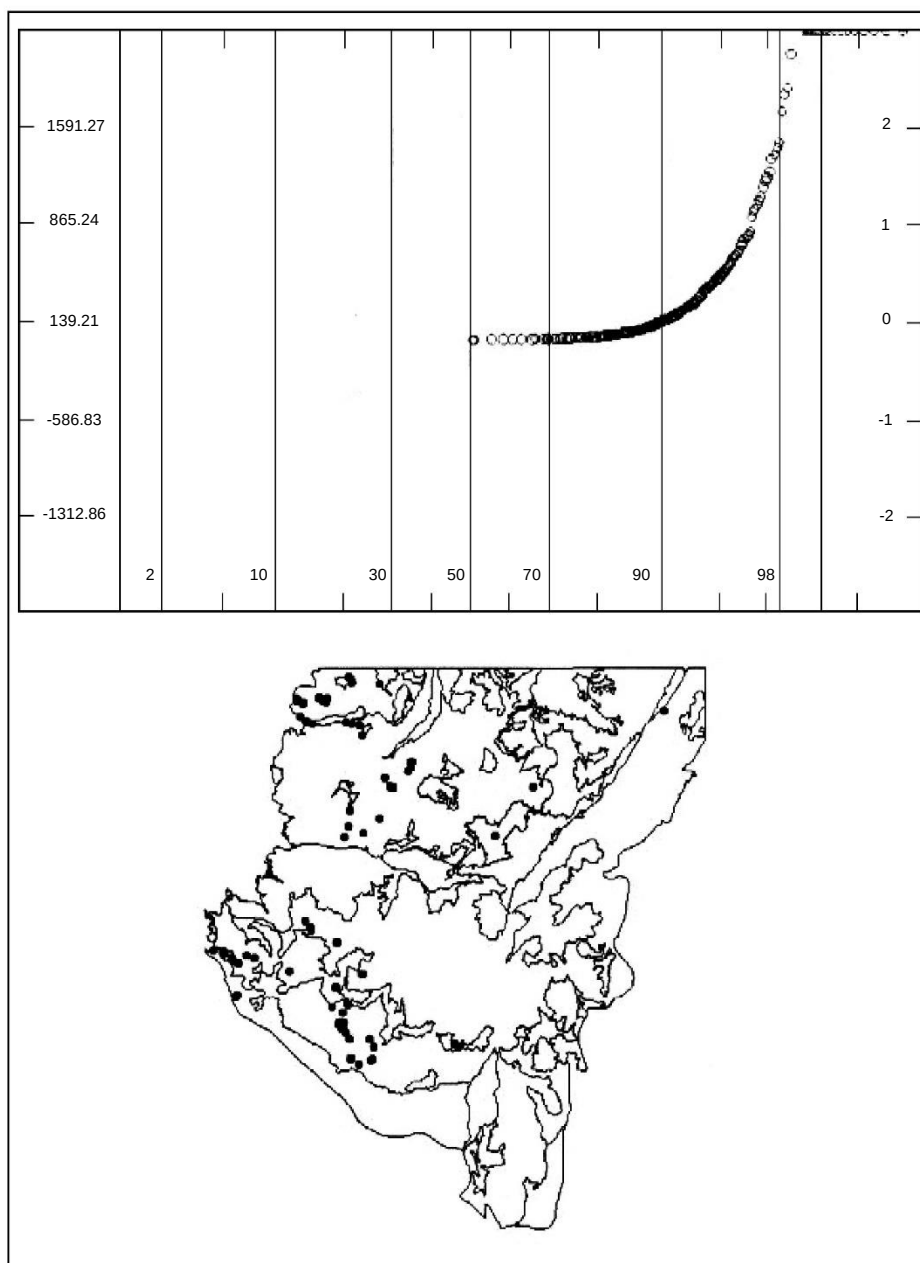


Figura 5. Gráfico de probabilidad acumulada y distribución de anomalías para Au

Tabla 7. Basamento metamórfico. Estadísticas resumidas

	Estaciones	Media	Des. Est.	Mín	Máx	Mediana
Au	347	43.82	156.97	3.33	1835	6
Ag	347	0.76	1.06	0.66	17.8	0.66
Cu	347	36.32	61.13	3	931	28
Pb	347	22.17	17.2	2.66	145	19
Zn	347	89.14	36.89	3.33	379.69	82
Mo	347	1.84	1.37	0.9	10	0.9
Ni	347	30.31	62.24	2.2	850.5	20
Co	347	14.82	7.27	1.73	70	13
Cd	347	0.56	0.27	0.46	2.5	0.46
Bi	347	4.3	1.72	4	32.5	4
Fe	347	3.59	1.1	0.55	9.07	3.47
Mn	347	687.87	292.83	63	2023	654
Te	347	6.75	1.07	6.66	23	6.66
Ba	347	119.01	49.24	21	308	113
Cr	347	47.04	57.2	2.46	854.5	35
V	347	66.47	32.17	2	292	62
Sn	347	13.55	1.96	13.33	38	13.33
W	347	13.57	1.6	13.33	28	13.33
La	347	16.33	9.71	0.66	67	14
Al	347	2.74	0.93	0.23	5.07	2.66
Mg	347	0.8	0.39	0.01	3.55	0.77
Ca	347	0.35	0.41	0.01	6.69	0.29
Na	347	0.02	0.01	0.01	0.09	0.02
K	347	0.2	0.15	0.03	1.14	0.16
Sr	347	25.41	20.79	-1	210	21
Y	347	8.44	3.19	2	23	8
Ga	347	4.25	3.06	1.33	15	4
Li	347	21.28	8.87	0.8	61	21
Nb	347	2.61	2.4	0.66	17	2
Sc	347	5.39	2.47	3.33	24	5
Ta	347	6.74	0.97	6.66	23	6.66
Ti	347	0.07	0.04	0.01	0.21	0.07
Zr	347	1.18	1.32	0.66	13	0.66
As	347	29.8	161.63	2.66	2880.95	11.5
Sb	347	2.2	2.8	1.26	36.25	1.26
Hg	347	0.09	0.31	0.03	4.91	0.05

Tabla 8. Unidad Pallatanga. Estadísticas resumidas

	Estaciones	Media	Des. Est.	Mín	Máx	Mediana
Au	86	819.46	1857.09	3.33	9351	110
Ag	86	1.46	2.89	0.66	17.3	0.66
Cu	86	370.53	869.32	11	4799	112
Pb	86	65.81	259.18	2.66	1832	12
Zn	86	125.67	178.09	18	1023.5	83.5
Mo	86	1.9	1.54	0.9	8	0.9
Ni	86	82.86	71.72	5	393.06	70
Co	86	46.93	66.4	4.72	462.04	36
Cd	86	2.46	11.24	0.46	101	0.46
Bi	86	9.56	16.95	4	105	4
Fe	86	6.57	2.25	1.14	10*	7.04
Mn	86	982.53	519.08	187	2633	939
Te	86	9.75	11.09	6.66	77	6.66
Ba	86	70.54	45.78	5	250	66
Cr	86	131.27	86.21	14	433	122
V	86	174.79	68.49	19	297.5	186.75
Sn	86	13.72	2.13	13.33	29	13.33
W	86	13.65	2.09	13.33	29	13.33
La	86	7.51	6.52	0.66	39	6
Al	86	3.44	1.22	0.53	5.68	3.46
Mg	86	1.35	0.69	0.22	4.02	1.29
Ca	86	0.7	0.63	0.16	4.2	0.62
Na	86	0.02	0.02	0.01	0.14	0.02
K	86	0.07	0.05	0.01	0.26	0.05
Sr	86	18.62	9.52	-1	59	19
Y	86	7.81	4.16	2	22	7
Ga	86	5.52	3.89	1.33	14	5
Li	86	9.91	4.91	3	34	9
Nb	86	2.92	3.35	0.66	18	1.92
Sc	86	14.56	8.81	3.33	36	15
Ta	86	6.87	1.98	6.66	25	6.66
Ti	86	0.15	0.08	0.01	0.38	0.16
Zr	86	4.35	3.66	0.66	16.5	4
As	86	591	2021.01	2.66	10000*	23.65
Sb	86	12.66	42.37	1.26	306.6	2.13
Hg	86	0.9	4.04	0.03	33.84	0.1

*corresponde al límite analítico superior que se reporta

Tabla 9. Unidad Celica. Estadísticas resumidas

	Estaciones	Media	Des. Est.	Mín	Máx	Mediana
Au	27	49.714	115.557	3.33	535	7
Ag	27	0.66	0	0.66	0.66	0.66
Cu	27	29.167	11.518	3	63.5	28
Pb	27	39.21	25.628	2.66	102.5	32
Zn	27	142.021	78.209	3.33	328.9	134
Mo	27	2.198	1.225	0.9	5	2
Ni	27	10.7	6.449	2.2	28.5	9
Co	27	16.434	4.709	1.73	24	17
Cd	27	0.773	0.403	0.46	2.1	0.7
Bi	27	4.414	1.128	4	9	4
Fe	27	5.055	1.452	0.57	7.48	5.51
Mn	27	1088	473.138	235	2382.5	998
Te	27	6.66	0	6.66	6.66	6.66
Ba	27	101.111	35.749	22	206	102
Cr	27	20.813	9.906	2.46	42	20
V	27	97.815	47.071	9	231	97
Sn	27	13.33	0	13.33	13.33	13.33
W	27	13.33	0	13.33	13.33	13.33
La	27	12.358	6.154	0.66	28	11
Al	27	3.328	1.096	0.19	5.14	3.46
Mg	27	0.678	0.243	0.02	1.1	0.66
Ca	27	0.734	1.825	0.12	9.83	0.36
Na	27	0.018	0.009	0.007	0.05	0.02
K	27	0.098	0.056	0.007	0.27	0.08
Sr	27	30.228	21.481	-1	108	29
Y	27	9.537	4.842	2	23	9
Ga	27	6.067	3.316	1.33	13	6
Li	27	18	9.314	2	38	16.5
Nb	27	3.034	3.806	0.66	15	1
Sc	27	6.913	2.749	3.33	11.5	7
Ta	27	6.821	0.835	6.66	11	6.66
Ti	27	0.058	0.031	0.007	0.11	0.06
Zr	27	1.947	2.003	0.66	8.5	0.66
As	27	73.019	61.507	14.2	259.85	61.8
Sb	27	7.067	4.232	1.26	19.8	6.6
Hg	27	0.093	0.139	0.026	0.778	0.058

Tabla 10. Unidad Sacapalca. Estadísticas resumidas

	Estaciones	Media	Des. Est.	Mín	Máx	Mediana
Au	250	16.61	43	3.33	416	3.33
Ag	250	0.68	0.18	0.66	3	0.66
Cu	250	30.9	45.44	3	419	21
Pb	250	26.44	102.73	2.66	1587.5	14
Zn	250	110.77	230.13	3.33	3643.5	87
Mo	250	2.19	2.35	0.9	26	0.9
Ni	250	9.84	6.76	2.2	50	8
Co	250	13.02	4.87	1.73	51	13
Cd	250	0.7	1.65	0.46	25.5	0.46
Bi	250	4.21	1.06	4	15	4
Fe	250	4.34	1.47	0.33	9.99	4.28
Mn	250	993.48	386.53	69	3351	958.5
Te	250	7.04	2.76	6.66	40	6.66
Ba	250	162.04	106.4	6	792	132.5
Cr	250	23.91	14.9	2.46	126	20
V	250	110.83	61.12	5	542	103.5
Sn	250	13.37	0.67	13.33	24	13.33
W	250	13.33	0	13.33	13.33	13.33
La	250	11.76	6.13	0.66	35	11.25
Al	250	2.8	0.92	0.21	6.36	2.78
Mg	250	0.75	0.3	0.01	1.56	0.74
Ca	250	1.21	1.08	0.02	7.57	0.86
Na	250	0.05	0.05	0.01	0.29	0.04
K	250	0.12	0.06	0.01	0.42	0.11
Sr	250	70.5	55.47	-1	285	60.5
Y	250	8.94	3.72	0.66	35	8.75
Ga	250	5.31	3.43	1.33	23	5
Li	250	11.93	6.73	0.8	40	10.5
Nb	250	2.81	3.45	0.66	24	0.66
Sc	250	6.67	2.45	3.33	15	7
Ta	250	7.03	3.49	6.66	56	6.66
Ti	250	0.11	0.08	0.01	0.47	0.1
Zr	250	6.08	4.61	0.66	27	5
As	250	17.83	26.56	2.66	238.6	9.93
Sb	250	2.29	3.17	1.26	37.65	1.26
Hg	250	0.08	0.1	0.03	0.89	0.04

Tabla 11. Grupo Saraguro. Estadísticas resumidas

	Estaciones	Media	Des. Est.	Mín	Máx	Mediana
Au	1134	145.42	766.43	3.33	10000.00*	3.33
Ag	1134	1.36	4.98	0.66	87.00	0.66
Cu	1134	145.57	1113.04	3.00	20000.00*	15.00
Pb	1134	44.97	238.17	2.66	6732.00	18.00
Zn	1134	124.19	363.17	3.33	8516.00	76.00
Mo	1134	15.74	198.39	0.90	4458.00	0.90
Ni	1134	9.17	9.74	2.20	119.44	7.00
Co	1134	12.14	7.46	1.73	64.82	11.00
Cd	1134	0.96	3.70	0.46	101.30	0.46
Bi	1134	5.12	6.88	4.00	121.50	4.00
Fe	1134	3.73	1.58	0.56	10.00*	3.63
Mn	1134	838.25	488.09	109.00	11890.00	772.00
Te	1134	6.75	1.25	6.66	44.00	6.66
Ba	1134	179.67	109.61	7.00	1333.00	153.00
Cr	1134	23.30	21.39	2.46	191.00	18.00
V	1134	79.28	50.68	5.00	382.00	69.00
Sn	1134	13.38	0.65	13.33	24.00	13.33
W	1134	15.66	39.80	13.33	844.50	13.33
La	1134	11.92	6.95	0.66	103.00	11.00
Al	1134	2.94	1.06	0.19	6.68	2.86
Mg	1134	0.56	0.34	0.02	1.90	0.53
Ca	1134	0.47	0.43	0.03	7.62	0.39
Na	1134	0.02	0.03	0.01	0.33	0.02
K	1134	0.11	0.07	0.01	0.58	0.09
Sr	1134	41.71	36.33	-1.00	290.00	32.00
Y	1134	7.22	3.03	1.00	25.00	7.00
Ga	1134	5.04	3.49	1.33	32.17	5.00
Li	1134	12.14	7.55	0.80	58.00	11.00
Nb	1134	2.11	2.29	0.66	19.00	1.00
Sc	1134	5.31	2.56	3.33	29.00	3.33
Ta	1134	6.75	1.78	6.66	62.00	6.66
Ti	1134	0.07	0.06	0.01	0.58	0.06
Zr	1134	3.46	3.50	0.66	26.00	2.00
As	1134	44.15	165.25	2.66	3176.60	11.80
Sb	1134	6.28	63.52	1.26	2000.00*	1.26
Hg	1134	0.23	1.69	0.03	50.00*	0.06

*corresponde al límite analítico superior que se reporta

Tabla 12. Grupo Ayancay. Estadísticas resumidas

	Estaciones	Media	Des. Est.	Mín	Máx	Mediana
Au	138	33.975	134.506	3.33	1045	3.33
Ag	138	0.67	0.083	0.66	1.4	0.66
Cu	138	19.946	10.893	3	116	18
Pb	138	14.293	10.302	2.66	102	12.5
Zn	138	90.404	37.644	30	209	82
Mo	138	1.492	0.976	0.9	5	0.9
Ni	138	9.188	6.241	2.2	62	8
Co	138	13.803	5.857	1.73	41	13
Cd	138	0.481	0.137	0.46	1.95	0.46
Bi	138	4.203	1.215	4	17	4
Fe	138	4.408	1.88	1.23	10	3.985
Mn	138	893.42	293.865	41	2127	864.5
Te	138	6.892	1.592	6.66	23	6.66
Ba	138	173.812	86.863	3.6	678.5	157
Cr	138	20.691	14.158	2.46	83.5	16
V	138	149.804	112.964	2	747.5	114
Sn	138	13.47	1.185	13.33	25	13.33
W	138	13.407	0.908	13.33	24	13.33
La	138	9.083	4.018	0.66	32	9
Al	138	2.785	0.96	0.24	6.4	2.585
Mg	138	0.802	0.364	0.007	1.75	0.818
Ca	138	1.148	1.127	0.02	10	0.895
Na	138	0.083	0.069	0.007	0.4	0.065
K	138	0.093	0.05	0.03	0.3	0.08
Sr	138	98.986	51.086	-1	308	93.5
Y	138	6.19	2.105	0.66	14	6
Ga	138	3.46	2.76	1.33	13	2
Li	138	9.705	6.292	0.8	31	7.25
Nb	138	1.775	2.063	0.66	15	0.66
Sc	138	5.939	1.828	3.33	11	6
Ta	138	6.66	0	6.66	6.66	6.66
Ti	138	0.124	0.093	0.007	0.435	0.11
Zr	138	7.191	4.144	0.66	23	7
As	138	15.449	21.885	2.66	173.6	8.2
Sb	138	1.582	1.277	1.26	11	1.26
Hg	138	0.094	0.237	0.026	2.644	0.05

Tabla 13. Formación Quimsacocha. Estadísticas resumidas

	Estaciones	Media	Des. Est.	Mín	Máx	Mediana
Au	13	5.36	2.78	3.33	10	3.33
Ag	13	0.66	0	0.66	0.66	0.66
Cu	13	12.38	2.72	8	18	12
Pb	13	13.35	5.05	5	25	14
Zn	13	84.61	34.64	32	154	83
Mo	13	1.55	0.81	0.9	3	0.9
Ni	13	3.75	1.7	2.2	7	3.5
Co	13	12.49	9.84	5	43	10
Cd	13	0.48	0.07	0.46	0.7	0.46
Bi	13	4	0	4	4	4
Fe	13	2.97	0.73	1.92	4.7	3.04
Mn	13	1164.81	913.9	187	3646	1053
Te	13	6.66	0	6.66	6.66	6.66
Ba	13	198.35	84.58	107	428	177
Cr	13	8.46	3.13	2.46	13	10
V	13	85.35	23.61	49	122	83
Sn	13	13.33	0	13.33	13.33	13.33
W	13	13.33	0	13.33	13.33	13.33
La	13	6.09	3.5	0.66	15	5
Al	13	3.18	1.3	1.88	5.39	2.57
Mg	13	0.17	0.1	0.02	0.36	0.17
Ca	13	0.35	0.22	0.09	0.96	0.29
Na	13	0.03	0.03	0.01	0.11	0.02
K	13	0.03	0.01	0.01	0.05	0.03
Sr	13	74.77	37.48	-1	137	75
Y	13	3.08	1.32	1	6	3
Ga	13	6.44	6.69	1.33	21	3
Li	13	6.23	4.17	3	17	5
Nb	13	1.15	0.9	0.66	3	0.66
Sc	13	3.59	0.63	3.33	5	3.33
Ta	13	6.66	0	6.66	6.66	6.66
Ti	13	0.15	0.07	0.07	0.35	0.14
Zr	13	5.88	5.4	2	21	5
As	13	11.31	17.77	2.66	63.2	2.66
Sb	13	1.26	0	1.26	1.26	1.26
Hg	13	0.1	0.12	0.03	0.36	0.05

Tabla 14. Formación Turi. Estadísticas resumidas

	Estaciones	Media	Des. Est.	Mín	Máx	Mediana
Au	75	5.02	4.98	3.33	37	3.33
Ag	75	0.7	0.2	0.66	2.1	0.66
Cu	75	18.06	8.63	3	42	15
Pb	75	17.83	11.07	6	66	15
Zn	75	99.94	43.95	52	284.5	87
Mo	75	1.59	1.41	0.9	9	0.9
Ni	75	6.2	3.48	2.2	17	5
Co	75	10.66	3.82	1.73	27	10
Cd	75	0.49	0.2	0.46	2	0.46
Bi	75	4.04	0.35	4	7	4
Fe	75	3.79	1.32	2.14	8.92	3.29
Mn	75	635.63	301.09	113	1591	564
Te	75	6.66	0	6.66	6.66	6.66
Ba	75	172.76	77.81	13	538	155.5
Cr	75	12.55	6.88	2.46	37	11
V	75	125.73	58.06	35	379	112
Sn	75	13.33	0	13.33	13.33	13.33
W	75	13.74	2.05	13.33	25	13.33
La	75	7.78	3.13	0.66	15	7
Al	75	3.63	2.11	0.89	9.48	2.96
Mg	75	0.31	0.33	0.03	1.26	0.15
Ca	75	0.4	0.3	0.06	1.74	0.36
Na	75	0.03	0.03	0.01	0.13	0.02
K	75	0.04	0.02	0.02	0.18	0.04
Sr	75	70.9	34.29	-1	203	70
Y	75	3.72	1.91	1	13	3
Ga	75	6.46	6.41	1.33	30	4
Li	75	5.86	4.95	1.5	32	5
Nb	75	0.92	0.65	0.66	4	0.66
Sc	75	4.32	1.46	3.33	8	3.33
Ta	75	6.66	0	6.66	6.66	6.66
Ti	75	0.17	0.09	0.01	0.41	0.17
Zr	75	11.78	8.11	0.66	37	10
As	75	22.09	112.57	2.66	973.15	4.3
Sb	75	1.5	0.94	1.26	8.2	1.26
Hg	75	1.91	8.29	0.03	50*	0.06

*corresponde al límite analítico superior que se reporta

Tabla 15. Formación Tarqui. Estadísticas resumidas

	Estaciones	Media	Des. Est.	Mín	Máx	Mediana
Au	17	5.37	5.1	3.33	23	3.33
Ag	17	0.66	0	0.66	0.66	0.66
Cu	17	13.24	6.34	6	34	13
Pb	17	8.69	3.64	2.66	17	9
Zn	17	59.35	17.22	37	97	54
Mo	17	1.4	0.92	0.9	4	0.9
Ni	17	4.62	5.22	2.2	24	4
Co	17	8.88	4.69	3	22	9
Cd	17	0.48	0.08	0.46	0.8	0.46
Bi	17	4	0	4	4	4
Fe	17	2.66	0.8	1.46	4.61	2.68
Mn	17	756.53	706.48	92	3101	506
Te	17	6.66	0	6.66	6.66	6.66
Ba	17	189.29	72.6	88	330	179
Cr	17	8.67	7.79	2.46	37	8
V	17	62.88	20.3	31	98	70
Sn	17	13.33	0	13.33	13.33	13.33
W	17	13.33	0	13.33	13.33	13.33
La	17	7.76	4.49	0.66	14	8
Al	17	2.08	0.76	1.03	4.1	2.08
Mg	17	0.37	0.38	0.09	1.69	0.23
Ca	17	0.48	0.38	0.08	1.5	0.45
Na	17	0.04	0.03	0.01	0.15	0.03
K	17	0.1	0.04	0.05	0.19	0.09
Sr	17	44.24	36.53	-1	131	34
Y	17	4.53	2.12	1	8	4
Ga	17	4.31	2.51	1.33	10	4
Li	17	6.29	3.67	2	15	5
Nb	17	1.53	1.55	0.66	6	0.66
Sc	17	3.82	1.48	3.33	9	3.33
Ta	17	6.66	0	6.66	6.66	6.66
Ti	17	0.08	0.06	0.01	0.18	0.07
Zr	17	4.78	3.92	0.66	13	4
As	17	154.81	581.36	2.66	2407.4	5
Sb	17	1.51	0.62	1.26	3.5	1.26
Hg	17	0.05	0.03	0.03	0.12	0.05

Tabla 16. Intrusiones principales de granodiorita y diorita. Estadísticas resumidas

	Estaciones	Media	Des. Est.	Mín	Máx	Mediana
Au	299	152.69	608.71	3.33	6878	15
Ag	299	0.98	3.22	0.66	54.3	0.66
Cu	299	89.9	586.78	3	10000*	36
Pb	299	62.1	268.93	2.66	4210.5	23
Zn	299	154.84	406.19	19	5727	92
Mo	299	2.71	3.42	0.9	43.83	2
Ni	299	13.59	10.24	2.2	119.44	11
Co	299	15.05	9.97	5	154	14
Cd	299	1.68	8.38	0.46	137.1	0.46
Bi	299	5.56	12	4	203.5	4
Fe	299	4.76	1.74	1.62	10*	4.48
Mn	299	810.37	396.42	120	2882	758
Te	299	7.68	10.04	6.66	169.5	6.66
Ba	299	119.27	47.36	3.5	337	113
Cr	299	35.43	25.74	5	174	31
V	299	114.06	71.55	18	720	94
Sn	299	13.88	3.84	13.33	56	13.33
W	299	13.7	3.01	13.33	55	13.33
La	299	10.25	6.55	0.66	40	9
Al	299	3.1	1.12	0.55	7.7	3.01
Mg	299	0.79	0.27	0.09	1.86	0.79
Ca	299	0.51	0.6	0.05	4.18	0.37
Na	299	0.02	0.01	0.01	0.08	0.02
K	299	0.14	0.09	0.02	0.68	0.12
Sr	299	26.8	17.47	-1	123	25
Y	299	7.77	3.77	2	23	7
Ga	299	5.7	3.68	1.33	36	5
Li	299	15.01	6.74	0.8	43	14
Nb	299	2.95	4.34	0.66	51	1.33
Sc	299	5.51	2.62	3.33	18	5
Ta	299	7.76	9.45	6.66	146.33	6.66
Ti	299	0.09	0.04	0.01	0.21	0.09
Zr	299	1.65	1.86	0.66	16	0.66
As	299	127.64	745.24	2.66	10000*	18.6
Sb	299	4.75	14.66	1.26	175.9	2
Hg	299	0.15	0.45	0.03	5.53	0.06

*corresponde al límite analítico superior que se reporta

5.3.4 Arsénico y Antimonio

El arsénico y el antimonio están estrechamente asociados en todo el cuadrángulo 3°-4°S (Tabla 6). Por lo tanto, su distribución puede describirse convenientemente de manera simultánea. Aunque las proporciones varían de acuerdo con la temperatura, ambos elementos forman componentes importantes de los ensambles epitermales y mesotermiales en los campos de Bella Rica-San Gerardo y Zaruma-Portovelo, así como en ocurrencias al norte de la Falla de Jubones entre La Playa y Tres Chorreras.

Los datos de probabilidad acumulada para As y Sb (Figs. 6-7) muestran umbrales para la población entera de 68 mg/kg (percentil 90) y 4 mg/kg (percentil 91) respectivamente. Valores fuertemente anómalos superan los 451 mg/kg (percentil 98) y 21 mg/kg (percentil 98) respectivamente. Las abundancias de fondo de los metaloides presentan una variación litoestratigráfica marcada. Excluyendo localidades mineralizadas, las abundancias intermedias más altas prevalecen sobre litologías intermedias y máficas de la Unidad Pallatanga (>20 mg/kg As), la Unidad Celica (>30 mg/kg As), la Unidad Portovelo (>20 mg/kg As) y el Grupo Saraguro indiferenciado al oeste de la Caldera de Jubones. Los fondos de As sistemáticamente más bajos caracterizan facies dacíticas y riolíticas del Grupo Saraguro al este del área cartografiada.

Se registra una anomalía significativa de As en múltiples muestras sobre el inlier de basamento en Dumari, en asociación con mineralización documentada de vetas polimetálicas. Ejemplos incluyen sitios 976 [ref. 642731-9618224], 417 [ref. 642322-9618343] y 483 [643823-9619014], con valores de As hasta 369 mg/kg, Sb hasta 32 mg/kg, Cu hasta 167 mg/kg, Pb hasta 207 mg/kg y Au hasta 1454 µg/kg. Otras anomalías del basamento, generalmente coincidentes con Au (ver 5.3.3), ocurren en la cuenca de Santa Rosa (sitio 2691, ref. 629054-9603631; sitio 3528, ref. 628644-9603334), donde se registran valores de As hasta 2880 mg/kg, y en el relleno aluvial del Río Palenque al sur de la Falla de Jubones.

Sobre la Unidad Pallatanga se encuentran valores anómalos de As y Sb, típicamente asociados con Au, en cuatro áreas de captación discretas. En el Río Siete (drenando hacia el sur desde Bella Rica) se encuentran valores de As en el rango de 245-10000 mg/kg con hasta 237 mg/kg de Sb en los sitios 390 [ref. 641748-9658777], 484 [ref. 642230-9658397], 938 [ref. 642663-9657973] y 101 [ref. 644027-9657490]. Se registran valores de Cu hasta 9012 mg/kg en estas estaciones. Cerca de Ponce Enríquez, el Estero Guanache inferior presenta varios valores altos atribuibles a lavados de sedimento tanto de Bella Rica como de Gaby. Ejemplos incluyen el sitio 744 [ref. 642324-9661716], en el cual se encuentran 10000 mg/kg de As junto con 113 mg/kg de Sb, 9631 µg/kg de Au, 4624 mg/kg de Cu y 1832 mg/kg de Pb. Esta firma mesotermal (alta en As/Sb, rica en metales base) gradúa hacia una característica de ensamble de temperatura más baja en los sistemas del Río Tenguel y Río Chico. En el primero, el sitio 278 [ref. 646329-9662001] es uno de los cuatro puntos fuertemente anómalos en cuanto a As. En la zona de San Gerardo, los contenidos más altos de Sb y las concentraciones más bajas de metales base son más pronunciados, por ejemplo, en el sitio 894 [ref. 651461-9666603], que produce 5094 mg/kg de As y 306 mg/kg de Sb con abundancias muy bajas de Cu, Pb y Zn.

Sobre el Grupo Saraguro, la Unidad Portovelo del campo Zaruma-Portovelo se destaca por una sucesión de anomalías de As en el sistema Río Bono-Río Calera con orientación sur. El límite norte de esta zona abarca el drenaje hacia el sur desde una fuente de diorita al este de las ocurrencias de conductos de brecha en Paccha (sitio 5510, ref. 651008-9601947). Aquí, se registra un valor de 3176 mg/kg de As junto con 43 mg/kg de Sb, 3 mg/kg de Hg, 1263 µg/kg de Au, 4996 mg/kg de Cu, 1834 mg/kg de Pb, 4309 mg/kg de Zn, 27 mg/kg de Cd y 53 mg/kg de Bi. Las anomalías del Río Bono, provenientes de filones polimetálicos mesotermiales documentados, se encuentran en los sitios 3481 [ref. 650391-9600266] y 2439 [ref. 650183-9597101] con valores de As de 890-1239 mg/kg acompañados de un enriquecimiento significativo de Au-Cu-Pb. El Río Calera, cerca del contacto de la Unidad Portovelo y la riolita de Zaruma, produce valores de As de hasta aproximadamente 500 mg/kg, con Cu hasta 8598 mg/kg y Pb hasta 6732 mg/kg (por ejemplo, sitio 3258, ref. 650838-9596194). Esta firma rica en metales base prevalece a pesar del aumento de la sobreimpresión epitermal en esta área. Al suroeste de Zaruma, se registra un valor de 347 mg/kg de As con 46 mg/kg de Sb en el sitio 3164 [ref. 651822-9591028], marcando el límite sur de la zona fuertemente anómala.

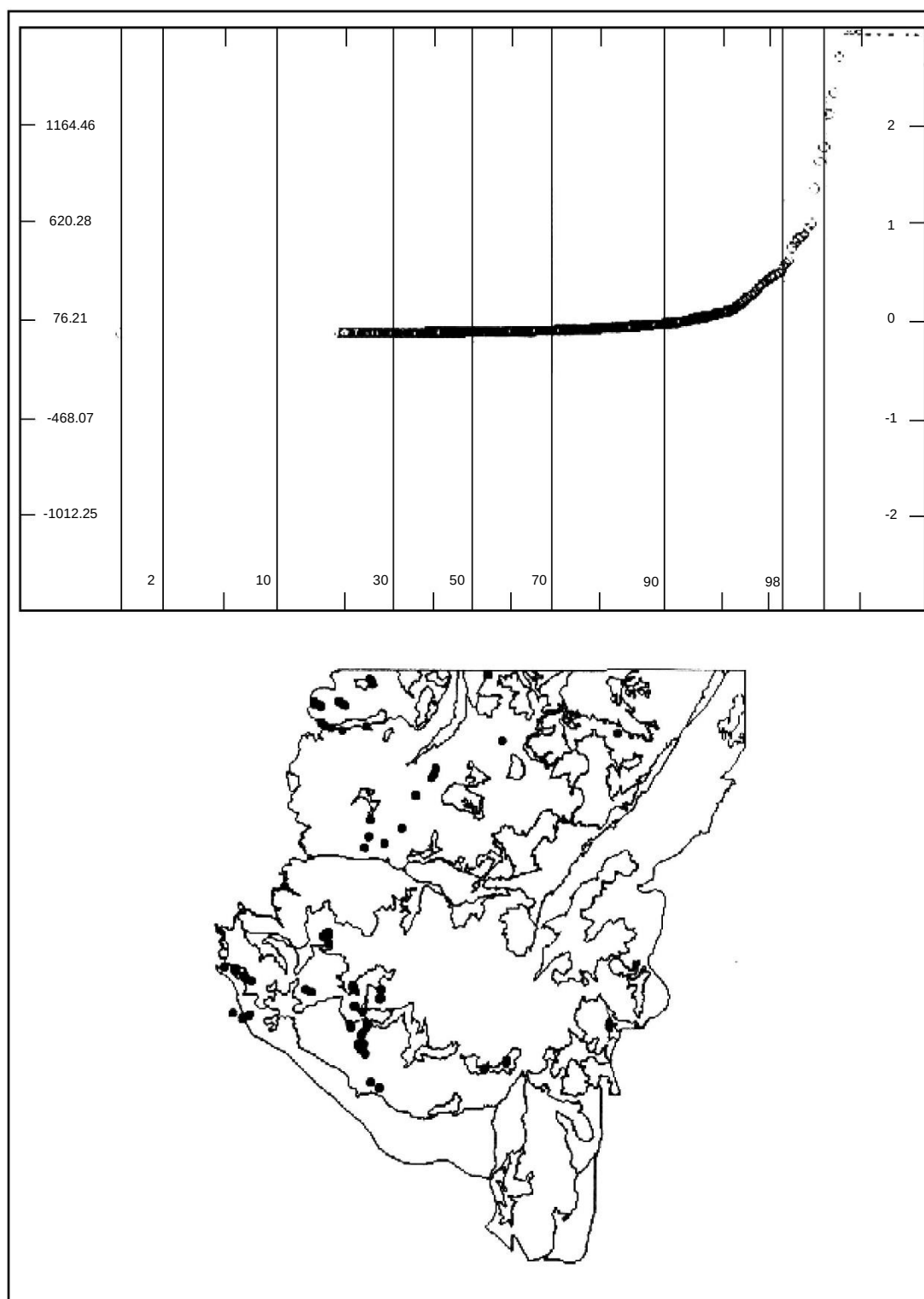


Figura 6. Gráfico de probabilidad acumulada y distribución de anomalías para As

Al norte de la Falla de Jubones, todas las anomalías conspicuas de As y Sb se relacionan con minas y prospectos documentados. En Tres Chorreras, sitio 1714 [ref. 663959-9649821] se obtiene 2388 mg/kg de As, 2000 mg/kg de Sb, 2622 mg/kg de Mo y 3634 mg/kg de Cu. Una anomalía en el Río San Martín (ref. 659775-9645029, 257 mg/kg de As, 144 mg/kg de Sb) destaca en La Enramada. Las relaciones bajas de As/Sb son características de ambas localidades. Las áreas de mina La Playa y La Tigra se caracterizan por modestas anomalías de As (hasta 500 mg/kg) dentro de un ensamble rico en Cu-Mo-W (por ejemplo, sitio 303, ref. 651549-9640288). Al sur de La Playa, otras intrusiones menores controlan la mineralización polimetálica rica en As, notablemente cerca de Mollepungu (sitio 340, ref. 651435-9637102).

Se registran valores elevados de As hasta 305 mg/kg en tributarios que fluyen hacia el sureste del Río Ramos (por ejemplo, sitio 2106 ref. 767773-9655191) en asociación con un afloramiento de andesita porfídica en el grupo Saraguro al noroeste de Shagli. Tales valores pueden ser en parte litológicos, aunque la alteración argílica y una abundancia de sulfuros diseminados son localmente prevalentes.

Los prospectos epitermales predominantemente de baja sulfuración del cinturón Gañarín central y norte producen una respuesta pobre con respecto al As. Una excepción ocurre 2 km al noreste del prospecto Cañaribamba, donde un tributario que fluye hacia el sureste del Río Naranjo atraviesa un stock de diorita, produciendo 81 mg/kg de As con 3046 µg/kg de Au. Se registra una alteración localmente intensa del Grupo Saraguro cerca del contacto intrusivo.

Secuencias volcánicas y sedimentarias posteriores al Grupo Saraguro presentan valores altos de As en el noreste del área mapeada, especialmente en el margen oriental de la Caldera de Quimsacocha, en el contacto del núcleo riolítico y sedimentos de la Formación Turi (sitio 1273, ref. 698871-9663942, 245 mg/kg de As, 9.7 mg/kg de Sb, 611 mg/kg de Cu, 0.57 mg/kg de Hg). Al sur del montículo de lava de Quimsacocha, se registra 973 mg/kg de As sobre la Formación Turi en el sistema del Río Cristal. La Formación Tarqui del área Saraguro alberga dos valores anómalos de As hasta 2400 mg/kg en tributarios del R. Paquishapa en el contacto con andesitas de la Unidad Sacapalca. No se registra enriquecimiento concurrente de elementos de interés económico. Una mina de travertino se encuentra a 0.5 km al norte.

Las anomalías conspicuas de As sobre terrenos intrusivos se limitan a tres localidades. Al este de Santa Rosa, los valores en Q. Las Moras (sitio 2820, ref. 626196-9612056) y Río Byron (por ejemplo, sitio 5676, ref. 628103-961031) alcanzan 5838 mg/kg de As con 34 mg/kg de Sb, 3747 µg/kg de Au, 1616 mg/kg de Cu y 468 mg/kg de Pb. Probablemente reflejan lavado aluvial del área minera de Cerro Pelado, 5 km al sur, donde vetas mesotermiales asociadas con brechas de turmalina están alojadas en facies volcánicas riódácicas. Cerca de Paccha, el sitio 3714 [ref. 648821-9605120] en un tributario del Río Higuerillas produce 10000 mg/kg de As y 168 mg/kg de Sb como componentes de un ensamble muy rico en Au-Cu-Cd. Se reporta una extensa alteración hidrotermal, sulfuros diseminados y amplia brechación hidrotermal con cementación de turmalina. Se considera que los altos valores de Hg en esta localidad reflejan contaminación. Aproximadamente 10 km al noroeste de Paccha, se registra un valor de As de 1057 mg/kg con 1149 µg/kg de Au y 368 mg/kg de Pb en una zona adicional de brechas ricas en turmalina en el sitio 6012 [ref. 639610-9608300]. La posible mineralización multifásica incluye una serie de vetas mesotermiales que transportan arsenopirita y galena.

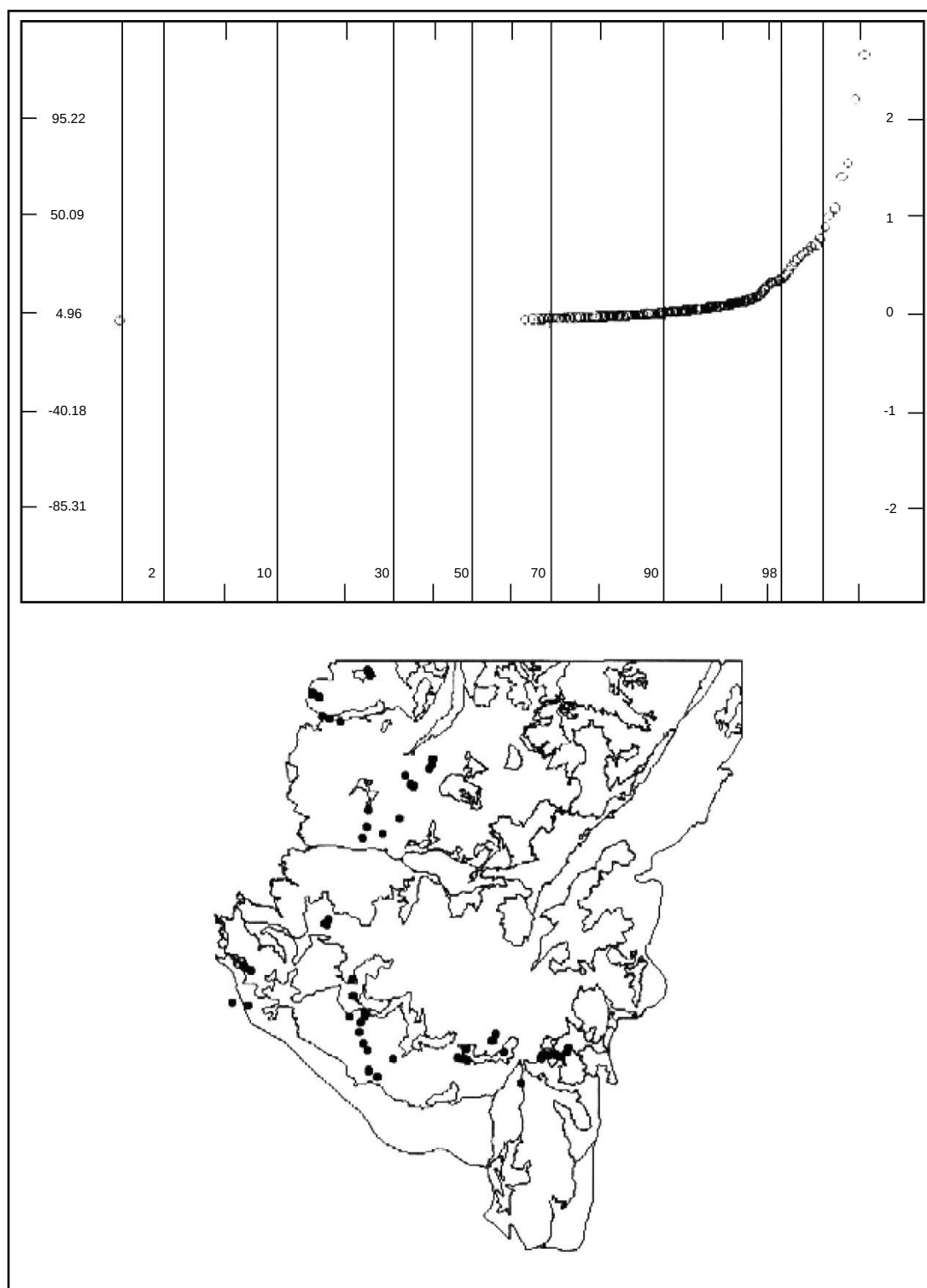


Figura 7. Gráfico de probabilidad acumulada y distribución de anomalías para Sb

5.3.5 Mercurio

Los valores de Hg en el rango <0.03-0.2 mg/kg caracterizan el 92% del conjunto de datos de 3°-4°S. Los datos de probabilidad acumulada (Fig. 8) ilustran un umbral en aproximadamente 0.40 mg/kg, con valores anómalos fuertemente en el rango 2.1 - >50 mg/kg. Muchos de estos valores anómalos ocurren dentro de los distritos mineros de Ponce Enríquez-Bella Rica y Portovelo-Zamora. La estrecha correlación estadística entre Hg y Au en estos distritos tiene poca importancia metalogénica, atribuyéndose principalmente a la liberación antropogénica de Hg durante el beneficio de Au.

Las rocas del basamento en el área de 3°-4°S albergan pocos valores significativos de Hg. Al sur de la Falla Jubones, se registra un valor de 0.8 mg/kg de Hg con un enriquecimiento coincidente de Au (2391 µg/kg) y As (3701 mg/kg) en el relleno aluvial de la cuenca del Río Palenque (sitio 6609, ref. 635598-9627663).

El enriquecimiento de Hg como contaminante es ampliamente evidente en el tramo Bella Rica-San Gerardo de la Unidad Pallatanga. El Río Guanache, que drena parcialmente las localidades Bella Rica y Gaby, produce varios valores en el rango de 1-3.25 mg/kg, característicamente en ensambles ricos en Au-Cu-Cd-Zn-As (por ejemplo, sitio 560, ref. 640320-9661491; sitio 30, ref. 641483-9661772; sitio 788, ref. 640875-9661820). Prevalen valores de aproximadamente 0.3-0.6 mg/kg de Hg en el sistema del Río Tenguel que fluye hacia el noroeste (por ejemplo, sitio 628, ref. 645424-9662716; sitio 278, ref. 646329-9662001). En el bloque de San Gerardo, el Río Chico y sus tributarios que fluyen hacia el noreste presentan valores de 1.6-3.2 mg/kg de Hg (por ejemplo, sitio 894, ref. 651461-9666603; sitio 105, ref. 651467-9666223; sitio 803, ref. 651951-9665667), con un enriquecimiento coincidente de Au hasta 8675 µg/kg y As hasta 6138 mg/kg.

Al este del tramo Bella Rica, una lengua alargada de la Unidad Pallatanga, delimitada al este por Q. Mangán, tiene valores de Hg fuertemente anómalos en el rango de 2.3-33.8 mg/kg dentro del Río Chiguay de orientación NE (sitio 5254, ref. 665304-9655593; sitio 2448, ref. 665690-9656201; sitio 6551, ref. 665997-9656993). No se registra enriquecimiento concurrente de Au, metales base o metaloides. Brechas tectónicas (posiblemente hidrotermales) ocurren a 1-2 km al sur.

Sobre el Grupo Saraguro, prevalece un fondo elevado de Hg en el bloque Zaruma-Portovelo como función probable de los impactos de la minería artesanal. Al oeste del contacto entre la Unidad Portovelo y el Grupo Saraguro indiferenciado, se registra un valor de Hg de 1.2 mg/kg en Q. El Trigal (sitio 5270, ref. 650697-9593601), un tributario de tendencia este del Río La Calera. Aproximadamente 1.5 km al noreste de Portovelo (sitio 6347, ref. 653489-9590121), se produce un valor de 0.85 mg/kg de Hg con 1888 µg/kg de Au, 385 mg/kg de As y enriquecimiento concurrente de metales base cerca de un pequeño stock o domo de riolita. Una anomalía más llamativa de >50 mg/kg de Hg con 6789 µg/kg de Au ocurre en Q. Honda (sitio 6227, ref. 655585-9594969), un tributario que fluye hacia el sur del sistema del Río Amarillo.

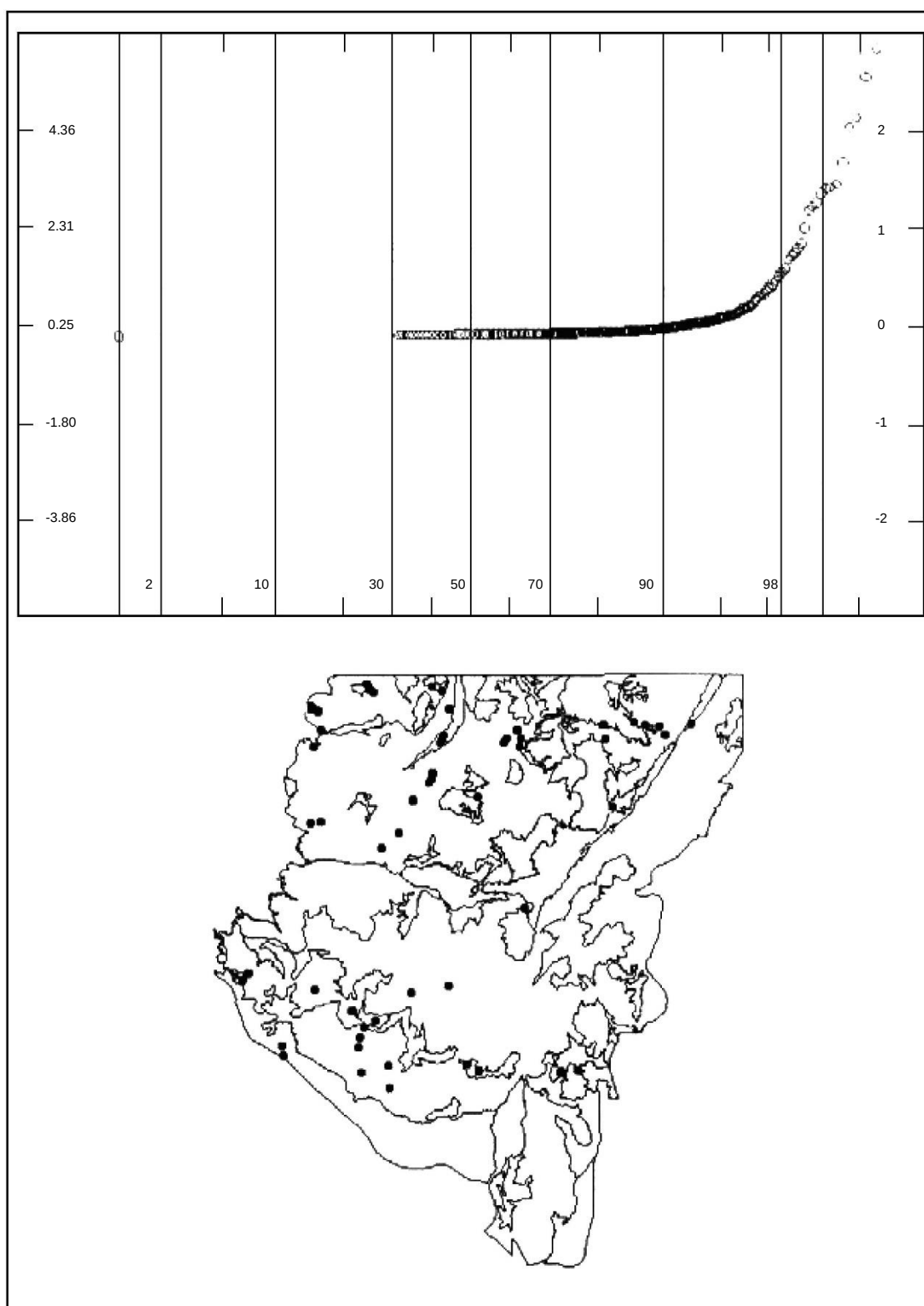


Figura 8. Gráfico de probabilidad acumulada y distribución de anomalías para Hg

En el sector central del área de 3°-4°S, se presenta una notable anomalía de Hg de 14.64 mg/kg, sin enriquecimiento concurrente de Au o metales base, dentro de la zona de falla del Río San José en el margen sur de la Cordillera de Corredores (sitio 6979, ref. 666963-9608906). Tobas riolíticas silicificadas al oeste tienen piritita diseminada. Más al este, se registra un valor de 14.1 mg/kg de Hg en Q. del Salado, un tributario de orientación este del sistema Río Manú-Río Uchucay. Andesitas alteradas hidrotermalmente ocurren al sur. La cercanía de una operación de travertino indica una posible influencia de (paleo) aguas termales.

Al norte de la Falla Jubones, el tramo Tres Chorreras-La Playa del Grupo Saraguro alberga numerosas anomalías de Hg, principalmente de origen antropogénico. En Tres Chorreras, los sitios 813 [ref. 663761-9649831] y 1714 [ref. 663959-9649821] tienen valores de Hg superiores a 3 mg/kg con Au hasta 9561 µg/kg, As hasta 2388 mg/kg, Sb hasta 2000 mg/kg y W hasta 80 mg/kg. En los sitios del Río Gigantes, 988 [ref. 663356-9648122] y 190 [ref. 660295-9644770], se registran valores de Hg de 1.9-4.4 mg/kg, con hasta 7520 µg/kg de Au, 53 mg/kg de Ag, 20000 mg/kg de Cu, 1495 mg/kg de As, 88 mg/kg de W, 664 mg/kg de Pb y 4450 mg/kg de Mo. El último sitio está fuertemente influenciado por las labores de extracción de oro de los Gigantes, a 2 km al NNW.

Dentro de la postulada Caldera Jubones, se registra un valor de Hg de 1.83 mg/kg en el contacto norte de volcánicos tobáceos con un núcleo de riolita expuesto al este de Pucará (sitio 1205, ref. 672448-9645419). No acompañado de enriquecimiento de Au, metaloides o metales base, aquel enriquecimiento de Hg puede reflejar una expresión de alto nivel de un sistema epitermal asociado con actividad subvolcánica resurgente. Más al noroeste, tres valores anómalos de Hg en el rango de 2.8-11.6 mg/kg ocurren en Q. Cordorcocha, un tributario del Río Minas que fluye hacia el sur. Los valores aumentan hacia las cabeceras. La distribución es antipática al Au. La anomalía de Hg más meridional (sitio 2722, ref. 679901-9657905) ocurre en una zona de intensa silicificación (ya sea de volcánicos Saraguro o litologías intrusivas enfriadas) con abundantes sulfuros diseminados. Estas anomalías podrían reflejar emanaciones distantes de baja temperatura asociadas con los centros Salvias y Shagli.

En el tramo post-Saraguro, un pronunciado enriquecimiento de Hg no antropogénico está asociado con el centro eruptivo de Quimsacocha. Valores extremadamente altos se orientan a lo largo del margen sur del montículo de lava, notablemente a lo largo de una lengua elongada de tendencia SE. Los sitios 1607 [ref. 701945-9659415], 1274 [ref. 704142-9658976] y 1842 [ref. 706812-9658715] arrojan valores de 31.9 - >50 mg/kg de Hg. Más al oeste, sobre la Formación Tarqui adyacente, se registran valores de 2.9-3.1 mg/kg. La falta sistemática de enriquecimiento concurrente de Au o metales base es consistente con las tendencias a lo largo del margen norte de la Formación Quimsacocha, al norte de la línea 3°S (Williams et al., 1997). Los datos de reconocimiento del PICG para sitios más cercanos al núcleo riolítico de la caldera no están disponibles debido a la falta de drenaje superficial. Las observaciones de campo sugieren, sin embargo, una presencia creciente de sulfuros con abundante enargita y cinabrio diseminado. Por lo tanto, se interpreta que los valores de Hg reportados definen el límite exterior (de menor temperatura) del sistema epitermal de Quimsacocha.

5.3.6 Cobre

La distribución regional de Cu en el cuadrángulo de 3°-4°S está sujeta a un fuerte control litológico. Los fondos más altos prevalecen sobre la Unidad Pallatanga (mediana de 100 mg/kg), la Unidad Celica y el basamento metamórfico. Los contrastes litológicos en el Grupo Saraguro están claramente discriminados, con predominio de facies dacíticas y riolíticas al norte y este de Chilla, que producen un fondo sistemáticamente bajo (<10 mg/kg) en comparación con la composición andesítica al sur y oeste. Las intrusiones de granodiorita y diorita en el sector sur del cuadrángulo son relativamente ricas en Cu, con medianas de sedimentos fluviales de ca. 50 mg/kg.

Con excepción de las ocurrencias epitermales de Au pobres en metales base del Cinturón Gañarín, los valores anómalos de Cu son estrechamente coincidentes con Au. Los valores dentro del percentil 3 más superior de la población se registran así en drenajes en el flanco sur del campo de Bella Rica (Río Siete), al suroeste del pórfido Gaby (Río Estero Guanache), el sistema del Río Calera en el área de Zaruma, y en tuberías de brechas y ocurrencias mesotermiales relacionadas en Tres Chorreras, La Tigrera, Gigantones, Paccha y Cerro Pelado (consulte las secciones 5.3.3-5.3.5 para detalles de ubicación y datos de concentración).

Además de la mineralización porfídica en Gaby, se destaca la mineralización porfídica y de stockwork asociada con una intrusión de granodiorita y un posterior stock de riolita en Fierro Urcu con valores de Cu de 366-419 mg/kg en los sitios 2057 y 5943 (refs. 683267-9589008; 683898-9589427). Se registran valores de Au de hasta 416 µg/kg en esta localidad. Las concentraciones de Mo y otros metales base son típicamente bajas.

La presencia de enargita dentro de los ensambles minerales en Quimsacocha se indica por un valor de 611 mg/kg de Cu en las cabeceras de Q. Quinuahuaycu en el contacto oriental de la riolita de Quimsacocha con las lavas de andesita circundantes (sitio 1273, ref. 698871-9663942).

6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

6.1 Potencial económico

6.1.1 *Directrices interpretativas*

El conjunto de datos de reconocimiento de drenajes descrito proporciona una herramienta potencialmente valiosa para la evaluación económica del sector 3°-4°S de la Cordillera Occidental, sujeto al reconocimiento de una serie de limitaciones.

6.1.1.1 Resolución: Con la resolución de muestreo llevada a cabo, se pueden resolver ocurrencias minerales significativas con solo una muestra anómala. Esto se ejemplifica con respecto a varios prospectos conocidos, incluidos Paccha, Gañarín y Cañaribamba.

6.1.1.2 Influencia del terreno: Las firmas geoquímicas de sedimentos de alto páramo están controladas por procesos físicos en lugar de hidromórficos y, por lo tanto, las relaciones pico/fondo, especialmente para metales de transición, son bajas. Esto, junto con las altas energías características de los drenajes de alto páramo, da como resultado respuestas frecuentemente sutiles a la mineralización. A menores elevaciones, incluidas las áreas de Zaruma y Ponce Enríquez, es más prevalente la movilidad de metales base y metaloides, y los óxidos hidratados ejercen un control más significativo sobre la intensidad de las anomalías de drenaje. Además de la normalización litológica, estas variaciones fisiográficas justifican la consideración en la interpretación de datos.

6.1.1.3 Estilo de mineralización: Si bien varias ocurrencias minerales asociadas con vetas mesotermales, brechas de turmalina, pórfidos y sulfuros masivos exhalativos están elucidadas por un fuerte enriquecimiento de metales base y metaloides en muestras de sedimentos, muchas ocurrencias epitermales conocidas del Cinturón Gañarín producen una respuesta de drenaje poco conspicua. Por lo tanto, es probable que las ocurrencias adicionales de carácter de baja sulfuración (adularia) análogas sean resueltas de manera deficiente por la metodología de reconocimiento de drenajes.

6.1.1.4 Influencia antropogénica: Las respuestas naturales de los drenajes a la mineralización son modificadas sustancialmente por la minería, el procesamiento de minerales y la eliminación de desechos de leyes sub-mena en muchos sectores del área 3°-4°S. La derivación precisa de los controles geológicos sobre las anomalías de drenaje en los campos de Bella Rica-Ponce Enríquez y Zaruma está efectivamente excluida.

6.1.2 *Importancia de las anomalías geoquímicas*

El cuadrángulo 3°-4°S alberga una diversidad de mineralización metalífera sin comparación dentro de la Cordillera Occidental. Si bien la mayoría de las anomalías geoquímicas más conspicuas (Tabla 17) están relacionadas con depósitos documentados (muchos de los cuales respaldan actividades mineras artesanales o de mediana escala en curso), existe potencial para la identificación de nuevos prospectos, especialmente aquellos de baja temperatura y pobres en metales base. Dichos depósitos son poco conspicuos tanto geoquímica como en expresión mineralógica superficial, y por lo tanto son frecuentemente pasados por alto por los prospectores artesanales.

Tabla 17. Resumen de las principales anomalías de drenaje en el sector 3°-4°S de la Cordillera Occidental

No.	Terreno	Ubicación	UTMX	UTMY	Au (ppb)	Asociación de elementos	Ambiente
1	Basamento	Dumari	6438	96190	hasta 1454	Pb-As-Sb-Cu	Vetas mesotermales
2	Basamento	Río Santa Rosa	6257	96039	hasta 1835	Cu-Bi-Ag-As-Sb	Fuente desconocida
3	Pallatanga	Gaby**	6423	96617	hasta 9351	Ag-Cu-Pb-Bi-As-Sb	Pórfido y stockwork
4	Pallatanga	Bella Rica (sur)	6417	96587	8000	As-Sb-Cu-Pb-Ag	Enjambre de vetas mesotermales con orientación NW
5	Pallatanga	Río Chiguay	6653	96555	-	Hg	Posibles brechas tectónicas/hidrotermales
6	Pallatanga	San Gerardo	6514	96666	hasta 8675	As-Sb-Cd	Vetas mesotermales
7	Saraguro	Zaruma-Portovelo	6945	95980	hasta 9446	Ag-Cu-Pb-Zn-As-Cd-Bi	Complejos riolíticos controlados estructuralmente
8	Saraguro	Q. Honda	6555	95949	-	Hg	Sistema epitermal L.S.
9	Saraguro	Tres Chorreras	6637	96498	hasta 9561	Cu-Mo-As-Sb-Bi	Brechas de turmalina
10	Saraguro	Gigantones	6602	96447	hasta 3837	Cu-Mo	Brechas de turmalina
11	Saraguro	La Playa	6515	96402	hasta 2140	W-Cu-Mo-Bi-As-Sb	Brechas de turmalina
12	Saraguro	Mollepungu	6514	96371	3415	Ag-W-Cu-Mo-As-Sb	Brechas de turmalina
13	Saraguro	Cañaribamba	6882	96449	3046	Ag	Sistema epitermal L.S.en asociación con riolitas
14	Saraguro/St. Isabel	Gañarín	6806	96352	1045	Ninguna	Sistema epitermal L.S.
15	Granodiorita	Paccha	6488	96051	5749	Ag-Pb-Cu-Zn-Cd-Bi-Sn-As-Sb	Brechas de turmalina
16	Saraguro	Shagli	7677	96551	-	As	Andesita porfídica
17	Quimsacocha	Quimsacocha	9988	96639	-	As-Cu-Hg	Riolita post-caldera
18	Turi	R. Quinuahuaycu	7019	96594	-	Hg	Sinter de fuente termal en margen de caldera
19	Turi	R. Cristal	7068	96587	-	Hg	Sinter de fuente termal en margen de caldera
20	Saraguro	Q. Cordococha	6799	96579	-	Hg	Riolita post-caldera, asociación epitermal
21	Saraguro	Q. del Salado	-	-	-	Hg	Sinter
22	Saraguro	Q. de Hornillos	6669	96098	-	Hg	Sistema epitermal L.S.
23	Tarqui	R. Paguishapa	6908	96010	-	As	Fuente desconocida
24	Granodiorita	R. Byron	6261	96120	hasta 3747	As, Sb, Cu, Pb	Brechas de turmalina
25	Saraguro	Fierro Urcu	6838	95894	-	Cu	Pórfido y stockwork

**ocurrencias minerales adicionales en el mismo sistema de drenaje

Un modelo de reconocimiento adecuado para los depósitos epitermales de baja sulfuración de Au dentro del área de 3°-4°S puede derivarse de las condiciones prevalentes en prospectos conocidos como Cerro Plancharumi (Williams et al., 1997), Cañaribamba, Gañarín y posiblemente sistemas de alta sulfuración como Quimsacocha, donde el enriquecimiento de Hg comúnmente se encuentra en los márgenes del objetivo económico principal (típicamente centrado en un emplazamiento de riolita post-caldera o controlado estructuralmente). Los halos de alteración difieren significativamente. En Quimsacocha, la alteración con alunita (producto de un régimen de pH relativamente bajo) y mineralización de Fe-Cu-Hg-Au ocurren dentro de un área más amplia de propilitización intensa. En Gañarín, se observa una silicificación localmente intensa. En Cañaribamba, ocurre una alteración sutil con adularia en rocas prácticamente no silicificadas. Estas observaciones pueden ser relevantes para la interpretación de las numerosas anomalías de Hg registradas en ausencia de enriquecimiento de Au o metales base, por ejemplo, en Q. de Hornillos. El enriquecimiento de mercurio en este ambiente altamente prospectivo del Cinturón Gañarín podría constituir la expresión geoquímica más oriental de un sistema limitado estructuralmente dentro de la zona de falla Río San José. Se ha mapeado una intrusión de riolita asociada con esta fractura de orientación N-S a 2 km al oeste de la anomalía, respaldando un escenario metalogénico análogo al de Cañaribamba.

No se proporciona evidencia inequívoca de nuevas ocurrencias mesotermales y/o relacionadas con pórfidos por los datos de reconocimiento de drenajes para el área de 3°-4°S. Por lo tanto, se debe enfatizar en la caracterización mejorada de los prospectos documentados. Los estudios de casos específicos realizados bajo el sub-componente 3.5 de PRODEMICA (Evaluación de distritos mineros) proporcionan un complemento valioso a las evaluaciones comerciales como las que están en curso en Gaby (Ecuadorian Minerals Corp.) y La Playa (Ecuator).

6.2 Líneas base ambientales

6.2.1 Justificación

Aunque los datos de geoquímica de drenaje se generaron casi exclusivamente para la exploración de minerales metalíferos antes de la década de 1980, hoy en día se reconocen como un recurso valioso para auditorías ambientales, evaluación de riesgos y planificación del uso de la tierra a escalas que van desde específicas de sitios hasta globales. La necesidad de conjuntos de datos multi-elementales nacionales e internacionales consistentes internamente para fines ambientales ha impulsado el desarrollo de una base de datos geoquímica global bajo IGCP-259 (Darnley et al., 1995). A continuación, se describen algunas posibles aplicaciones ambientales del conjunto de datos compilados para el sector 3°-4°S de la Cordillera Occidental.

6.2.2 Desarrollo de criterios de calidad de sedimentos

El estado de desarrollo de los criterios de calidad de sedimentos es limitado en comparación con los estándares establecidos de calidad de agua (derivados principalmente de los límites de agua potable de US-EPA y WHO) que son rutinariamente utilizados por las autoridades regulatorias ambientales a nivel mundial. En estudios recientes sobre los impactos de la minería y la urbanización en la calidad de sedimentos en Ecuador, Filipinas, Indonesia y África Oriental (por ejemplo, Williams et al., 1996a, 1996b, 1997b; Appleton et al., 1996), se han aplicado directrices del Documento de Criterios del Proyecto de la Comunidad Europea (Van Veen y Strotelder, 1988) presentado al Foro Internacional de Calidad de Sedimentos (1992), y/o los Criterios de Calidad de Sedimentos de Canadá para la Protección de la Vida Acuática (Environment Canada, 1992; revisados por MacDonald, 1994). Sin embargo, los primeros se basan únicamente en análisis estadísticos de datos de sedimentos de los Países Bajos y, por lo tanto, no tienen un significado humano o ecotoxicológico específico. Estos últimos (Tabla 18), aunque se basan en datos de dosis-respuesta modelados y experimentales, asumen una biodisponibilidad del 100% para contaminantes en sedimentos (aunque se considera el efecto del pH, lo que explica el umbral de toxicidad relativamente alto para Pb a pH 7.0), lo que hace que los umbrales de acción sean irrealísticamente bajos (ver Williams et al., 1997a).

Tabla 18. Criterios de Calidad de Sedimentos (mg/kg) para la Protección de la Vida Acuática.
Fuente: Environment Canada (1992), revisado por MacDonald (1994)

Elemento	Umbral sin efecto	Umbral de efecto mínimo	Umbral de efecto tóxico
As	3	7	17
Cd	0.2	0.9	3
Cu	28	28	86
Pb	23	53	170
Hg	0.05	0.2	1
Zn	100	150	540

La aplicación de estándares universales de elementos traza para la evaluación de la calidad del suelo o sedimentos a escala regional, nacional o internacional es reconocida actualmente como una debilidad en este campo de la regulación ambiental en Europa y América del Norte. Dichos estándares no logran considerar la variabilidad natural (controlada litológicamente) de las concentraciones ambientales naturales de micro-nutrientes y elementos traza potencialmente tóxicos. Los problemas resultantes pueden ejemplificarse al aplicar los umbrales de efecto tóxico de los Criterios de Calidad de Sedimentos para la Protección de la Vida Acuática (Environment Canada, 1992) para As (Tabla 18) en el cuadrángulo 3°-4°S, donde los valores medianos de As varían de <5 mg/kg para las Formaciones Tarqui, Turi y Quimsacocha a >18 mg/kg para la Unidad Pallatanga y complejos intrusivos mayores. Un umbral de 17 mg/kg corresponde así a >3 veces el fondo dentro de las primeras unidades, aunque cae por debajo del fondo (definido por la mediana) para las últimas.

Un enfoque más pragmático para el desarrollo de criterios de calidad para el monitoreo y protección ambiental, que está ganando aceptación internacional, implica la derivación de niveles de fondo, umbral y acción normalizados litológicamente para contaminantes en sedimentos (o suelos) (por ejemplo, Darnley et al., 1995). Estos proporcionan una base para evaluar el impacto ambiental de desarrollos agrícolas, industriales y residenciales dentro de su contexto local o regional específico. Sin embargo, el establecimiento de tales umbrales normalizados depende de la existencia de datos geológicos y geoquímicos multi-elementales a escala regional o nacional que representen el espectro litológico natural. En este sentido, el mapeo geológico y los programas de reconocimiento regional realizados en la Cordillera Occidental pueden respaldar directamente el desarrollo bajo el subcomponente 2.3 de PRODEMINCA (Desarrollo de Políticas) de la legislación ambiental nacional.

6.2.3 Predicción y control de impactos mineros

Los estudios de la hidroquímica de las aguas de drenaje de más de cincuenta operaciones de Au y sulfuros complejos en África y el sudeste asiático (Williams y Breward, 1995) han demostrado que la composición de los lixiviados es una función predecible del tipo de depósito, mineralogía del mineral de mena y contexto geológico (Fig. 9). Además de definir los objetivos de exploración, los datos de geoquímica de sedimentos de drenaje también elucidan la composición de los sulfuros del yacimiento. Por lo tanto, estos datos proporcionan una visión temprana de los potenciales peligros geoquímicos asociados con la explotación del depósito, de valor en las etapas de planificación del proyecto y evaluación de impacto.

Dentro del sector 3°-4°S de la Cordillera Occidental, las firmas geoquímicas contrastantes, y por lo tanto los peligros ambientales inherentes, asociados con prospectos de carácter metalogénico diferente se ejemplifican en la Figura 10. Los diagramas spider (construidos solo con elementos de importancia económica y/o ambiental) discriminan, por ejemplo, los prospectos de baja temperatura y baja sulfuración Cañaribamba y Gañarín por sus relaciones de Au/metales base. Los valores de Cu, Pb, Zn, Cd, As y Sb en estos lugares son característicamente dos o tres órdenes de magnitud más bajos que los asociados con brechas de turmalina y ocurrencias de filones mesothermal. Dentro de las ocurrencias mesotermales para las cuales se presentan datos, La Playa se caracteriza de manera única por el enriquecimiento en W. Aunque no se incorpora en la Figura 9, la presencia de telururos (hasta ca. 80 mg/kg Te) distingue a Bella Rica de los ensambles mesotermales en San Gerardo y en otros lugares.

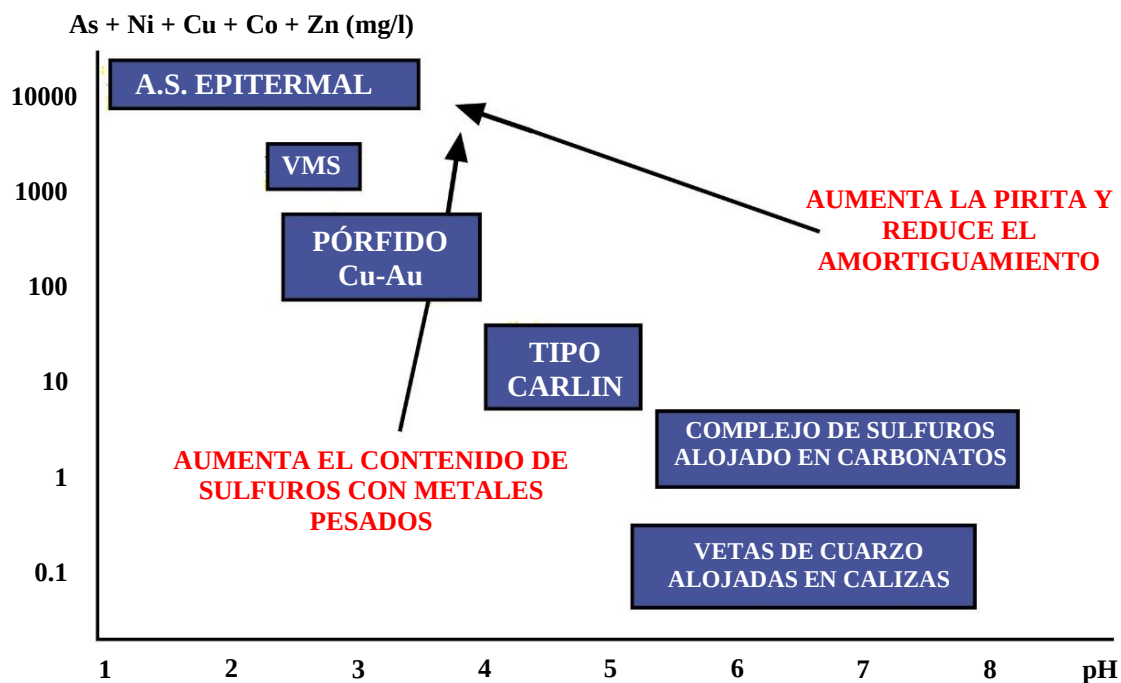


Figura 9. Típico pH y contaminantes disueltos característicos de las aguas mineras asociadas con configuraciones metalogénicas contrastantes, basadas en datos empíricos de Tailandia, Malasia, Zimbabue, Filipinas y Estados Unidos

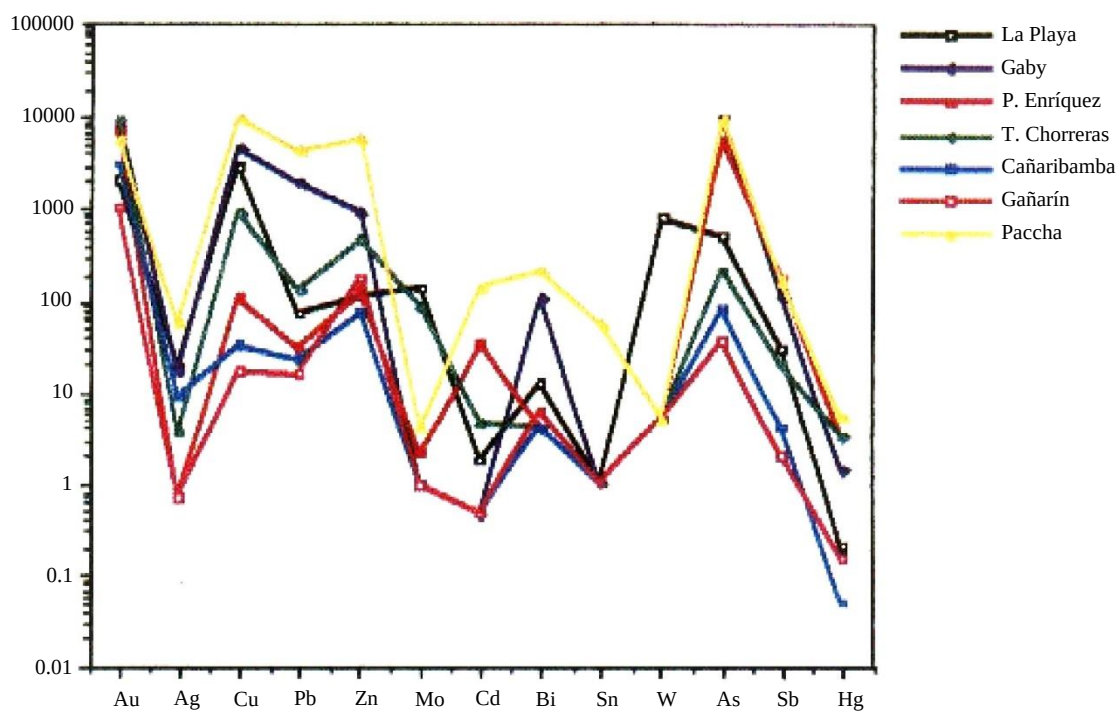


Figura 10. Diagramas spider para depósitos minerales seleccionados dentro del sector 3°-4°S de la Cordillera Occidental, construidos utilizando elementos de importancia económica y ambiental

6.2.4 Peligros geoquímicos naturales

La importancia de la geoquímica ambiental en la etiología de numerosas enfermedades relacionadas con elementos traza ha sido enfatizada por Mills (1996). Variaciones controladas litológicamente en la concentración de P, I, Se, Cu, Co y otros elementos traza ejercen un control de primer orden en la distribución de numerosas enfermedades animales y/o humanas relacionadas con deficiencias de micro-nutrientes, como el bocio y el cretinismo asociados con la deficiencia de I (por ejemplo, Fuge, 1996) y cardiopatías sensibles al Se (por ejemplo, Mills, 1996), que están bien documentadas. Darnley et al. (1995) han mostrado que extensas regiones del mundo tienen niveles naturales de elementos traza esenciales muy por debajo de los recomendados para suelos agrícolas y pastizales. Los problemas de toxicidad crónica (en humanos y/o ganado) asociados con la exposición natural a F (notablemente en África Oriental), As (India, Bangladesh, Tailandia, Argentina, México, Chile, Uruguay) y Se (China, EE.UU.) también son ampliamente conocidos (por ejemplo, Plant et al., 1996).

Dentro del contexto de la salud humana y animal, características geoquímicas naturales potencialmente significativas del cuadrángulo 3°-4°S incluyen áreas de enriquecimiento intenso de Mo (hasta 200 veces la abundancia media de la corteza superior) en las localidades de La Playa y Tres Chorreras, y enriquecimiento localizado de Hg (hasta 600 veces la abundancia media de la corteza superior) en asociación con numerosas paleo-fuentes termales o exhalaciones de sinter de baja temperatura, notablemente al sur de Quimsacocha. Los niveles ambientales elevados de Mo (típicamente restringidos a sistemas porfídicos de Cu-Mo y lutitas negras) son una causa potencial de deficiencia secundaria de Cu a través de la inhibición de la asimilación de Cu en rumiantes (Mills, 1996). La influencia es fuertemente dependiente del pH, y se necesita una caracterización adicional de las condiciones fisicoquímicas locales para evaluar completamente el riesgo. Con respecto al Hg, los valores máximos registrados como características naturales en sistemas como el Río Quinuahuaycu superan a los reportados para los campos mineros de Nambija (Williams y Orbea, 1997), Ponce Enríquez (Appleton et al., 1996) y Zaruma-Portovelo en hasta un factor de 10. Estas anomalías naturales se encuentran dentro del rango superior de los valores de sedimentos documentados para localidades importantes de fiebre del oro en Rondonia (Brasil) y Venezuela (Pfeiffer et al., 1989; 1991; Martinelli et al., 1988).

6.3 Declaración final

Todos los datos incorporados en este documento fueron compilados de acuerdo con los objetivos específicos del sub-componente 3.4 de PRODEMINCA (Mapeo Temático), y los objetivos más amplios de PRODEMINCA delineados en el Memorándum del Proyecto del Banco Mundial (1993). Para lograr este último, la integración de datos geoquímicos con resultados geocientíficos, sociales y económicos de otros sub-componentes del proyecto es un requisito central. Las posibles áreas de aplicación para los datos de reconocimiento geoquímico (excluyendo la exploración) dentro del contexto de PRODEMINCA incluyen el Desarrollo de Políticas (2.3), Monitoreo de la Contaminación y Salud Relacionada con Actividades Mineras (3.1), Contención y Neutralización de Residuos Mineros Peligrosos (3.2), Mapeo Geológico (3.3), Evaluación de Distritos de Minerales (3.5), como se indica en las secciones 6.1-6.3 de este informe. La utilización de la información geoquímica dentro de estos sub-componentes se ha facilitado en la mayor medida posible bajo el programa actual mediante la adopción de una base de datos Oracle y un GIS Intergraph, compatibles con los sistemas de TI utilizados en todos los demás sub-componentes técnicos de PRODEMINCA.

La función de este documento como una visión metodológica/descriptiva de datos se describe en la sección 1. Tras la publicación en 1998 de datos geoquímicos digitales para las áreas 3°-4°S y 2°-3°S de la Cordillera Occidental, la rentabilidad estratégica y económica será determinada en gran parte por el interés del sector privado. Sin embargo, continuará la participación de CODIGEM, DINAPA, DINAMI y otros departamentos gubernamentales en la gestión de datos, la provisión de conjuntos de datos multi-temáticos y orientación interpretativa. Esta contribución a largo plazo del sector público podría ser en última instancia tan importante como la inversión privada para lograr el objetivo central de PRODEMINCA de desarrollo sostenible del sector de minerales metalíferos del Ecuador.

7. BIBLIOGRAFÍA

APPLETON J. D. (1996) Assessment of mercury contamination in the Ponce Enríquez artisanal gold mining area, Ecuador. British Geological Survey, Overseas Geology Series Technical Report WC/96/55.

ASPDEN J. A., HARRISON S. M. and RUNDLE C. C. (1992) New geochronological control for the tectono-magmatic evolution of the metamorphic basement. Cordillera Real and El Oro province of Ecuador. Journal of South American Earth Sciences, Vol. 6, 77-96.

ASPDEN J. A., BONILLA W. and DUQUE P. (1995) The El Oro metamorphic complex, Ecuador: Geology and economic mineral deposits. Overseas Geology and Mineral Resources, No. 67, 63pp.

BALDOCK J. W. (1982) Geología del Ecuador. Boletín de la explicación del mapa geológico (1:1000000) de la República del Ecuador. Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Quito, 54pp.

BOLVIKEN B. and SINDING-LARSEN B. (1973) Total error and other criteria in the interpretation of stream sediment data. In: Geochemical Exploration 1972 (London: Institution of Mining and Metallurgy).

BRITISH GEOLOGICAL SURVEY and CORPORACIÓN DE DESARROLLO e INVESTIGACIÓN GEOLÓGICO, MINERO y METALÚRGICO (1997) Geological map of the Western Cordillera, Ecuador between 3 and 4 degrees south (1:200000). BGS, Keyworth, UK.

DARNLEY A. G., BJORKLUND A., BOLVIKEN B., GUSTAVSSON N. and KOVAL P. (1995) A global geochemical database: Recommendations for international geochemical mapping. Final report of IGCP project 259. UNESCO, Paris.

DIRECCIÓN NACIONAL DE GEOLOGÍA Y MINAS (1973a) Mapa Geológico del Ecuador.

DUNKLEY P. N., GAIBOR A. and BOLAÑOS J. E. (1997) Geochemical orientation survey, Río Junín. Geological Information Mapping Programme (GIMP) report No. 5. World Bank Mining Development and Environmental Control Project (PRODEMINCA), Misión Geológica Británica, CODIGEM, Quito, Ecuador.

DUNKLEY P. N. and GAIBOR A. (1997a) Control of quality of geochemical data. Geological Information Mapping Programme (GIMP) report No. 6. World Bank Mining Development and Environmental Control Project (PRODEMINCA), Misión Geológica Británica, CODIGEM, Quito, Ecuador.

DUNKLEY P. N. and GAIBOR A. (199b) Geology of the area between 2 and 3 degrees south. Western Cordillera, Ecuador. Open File Report WC/97/26, British Geological Survey.

FEININGER T. (1973) Geologic map of the western part of the El Oro Province (1:50000). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador.

FUGE R. (1996) Geochemistry of iodine in relation to iodine deficiency diseases. In: Environmental geochemistry and health with special reference to developing countries. Geological Society Special Publication No. 113, 201-213. Geological Society of London.

- GARRETT R. G. (1983)** Sampling methodology. In: Howarth R. J. Ed. Handbook of exploration geochemistry volume 2: Statistics and data analysis in geochemical prospecting. Chapter 4, 83-111. Elsevier, London.
- GEMUTS I., LÓPEZ G. and JIMÉNEZ F. (1982)** Gold deposits of southern Ecuador. Newsletter of the Society of Economic Geologists, No. 11, 13-17.
- GOOSSENS P. J. (1972)** An exhalative volcanic iron sulphide stratabound deposit near San Fernando, Azuay Province, Ecuador. Economic Geology, Vol. 67, 469-480.
- HUGHES R. A. and BERMÚDEZ R. A. (1997)** Geology of the area between 1 degree south and the equator, Western Cordillera, Ecuador. Open file report WC/97/25, British Geological Survey.
- HUNGERBÜHLER D. and STEINMANN M. (1996)** Curso internacional geología de cuencas sedimentarias (Mioceno, Sur del Ecuador). Guía del campo. Escuela Politécnica Federal de Zürich, 27.
- HUNGERBÜHLER D. and STEINMANN M. (in prep)** Tertiary basins in the Andes of southern Ecuador (3°S-4°20'S): Sedimentary evolution, deformation and regional tectonic implications. Unpublished PhD Thesis. Institute of Geology, Zürich, Switzerland.
- JAILLARD E., ORDÓÑEZ M., BERRONES G., BENGTON P., BONHOMME M., JIMÉNEZ N. and ZAMBRANO I. (1996)** Sedimentary and tectonic evolution of the arc zone of southwestern Ecuador during late Cretaceous and early Tertiary times. Journal of South American Earth Sciences, Vol.9, 131-140.
- KENNERLEY J. B. (1980)** Outline of the geology of Ecuador. Institute of Geological Sciences. Overseas Geology and Mineral Resources, No. 55, 20 pp.
- MACDONALD D. D. (1994)** A review of environmental quality criteria and guidelines for priority substances in the Fraser River basin. DOE-FRAP. 1994-30.
- MARTINELLI L. A., FERREIRA J. R., FORSBERG B. R. and VICTORIA R. L. (1988)** Mercury contamination in the Amazon: a gold rush consequence. Ambio, 17 No. 4, 252-254.
- MCCOURT W., DUQUE P. and PILATASIG L. (1997)** Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 1° and 2° S. Geological Information Mapping Programme (GIMP) Report No. 3. World Bank Mining Development and Environmental Control Project (PRODEMINCA). Misión Geológica Británica, CODIGEM, Quito, Ecuador.
- MILLS C. F. (1996)** Geochemical aspects of the aetiology of trace element related diseases. In: Environmental geochemistry and health with special reference to developing countries. Geological Society Special Publication No. 13, 113, 1-7. Geological Society of London.
- MISIÓN BELGA (1989)** Informe de evaluación técnica complementaria del área minera Portovelo. Proyecto del sector minero en el Ecuador. INEMIN/AGDC.
- NAKASHIMA S. (1979)** Selective determination of arsenic (iii) and arsenic (v) by atomic absorption spectrophotometry following arsene generation. Analyst. Vol. 104, pp. 172-173.
- PALADINES A. and ROSERO G. (1996)** Zonificación mineralógica del Ecuador. (Laser editores; Quito).

PFEIFFER W. C., LACERDA D. L., MALM O., SOUZA C. M. M., DE SILVA E. G. and BASTOS W. R. (1989) Mercury concentrations in inland waters of gold mining areas in Rondonia, Brazil. *Science of the Total Environment*, 78, 233-240.

PFEIFFER W. C., MALM O., SOUZA C. M. M., LACERDA D. L., DE SILVA E. G. and BASTOS W. R. (1991) Mercury in the Madeira River ecosystem. Rondonia, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 38, 239-245.

PLANT W. C. (1973) A random numbering system for geochemical samples. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*, section B. 83.

PLANT J. A. and MOORE P. J. (1979) Regional geochemical mapping and interpretation in Britain. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, Vol. 288, B95-112.

PLANT J. A., JEFFREY J. K., GRILL E. and FAGE C. (1975) The systematic determination of error, accuracy and precision in geochemical exploration data. *Journal of Geochemical Exploration*, Vol. 4, 467-486.

PLANT J. A., BALDOCK J. W. and SMITH B. (1996) The role of geochemistry in environmental and epidemiological studies in developing countries: a review, In: *Environmental geochemistry and health with special reference to developing countries*. Geological Society Special Publication No. 113, 7-23. Geological Society of London.

PRATT W. T., FIGUEROA J. F. and FLORES B. G. (1997) Geology of the Cordillera Occidental of Ecuador between 3° and 4° S. Geological Information Mapping Programme (GIMP) Report No. 1. World Bank Mining Development and Environmental Control Project (PRODEMINCA), Misión Geológica Británica, CODIGEM, Quito, Ecuador.

THOMPSON M. and HOWARTH R. J. (1978) A new approach to the estimation of analytical precision. *Journal of Geochemical Exploration*, 9, 23-30.

UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME (1969) Survey of metallic and non-metallic minerals. Iron-sulphide mineralization, San Fernando, Azuay Province. *Technical Report, United Nations Development Programme, Quito-New York*.

VAN THOURNOUT F., VALENZUELA G., MERLYN M. and SALEMINK J. (1991) Portovelo, mineralización epitermal en relación con una caldera. *Boletín Geológico Ecuatoriano*, Vol. 2, 13-26.

VAN VEEN R. J. and STROTELDER P. B. M. (1988) Research on contaminated sediments in the Netherlands. In Wolf K., Van de Brink W. J. and Colon F. J. (Eds). *Contaminated soil*. 1263-1275. Academic Publ.

WILLIAMS T. M., ROBOTHAM H. and SIMPSON P. R. (1992) Soil geochemistry of the Central, Above Rocks and Blue Mountains inliers and intervening Cenozoic sequences. Jamaica. British Geological Survey Geochemistry Series Technical Report WP/92/13/R.

WILLIAMS T. M. and BREWARD N. (1995) Environmental impacts of gold and complex sulphide mining (with particular reference to arsenic contamination). British Geological Survey Overseas Geology Series Technical Report WC/95/2.

WILLIAMS T. M., WEEKS J. M., APOSTOL A. and MIRANDA C. (1996a) Assessment of mercury toxicity hazard associated with cinnabar mining and tailings disposal in Honda Bay,

Palawan, Philippines. British Geological Survey. Overseas Geology Series Technical Report WC/96/31/R.

WILLIAMS T. M., REES J. G., KAIRU K. K. and YOBE A. C. (1996b) Assessment of contamination by metals and selected organic compounds in coastal sediments and waters of Mombasa, Kenya. British Geological Survey. Overseas Geology Series Technical Report WC/96/37.

WILLIAMS T. M. and ORBEA H. (1997) Dispersal of mercury and ore-derived metals in surface drainage of the Nambija artisanal mining field, Ecuador. British Geological Survey. Overseas Geology Series Technical Report WC/97/37.

WILLIAMS T. M., FORDYCE F. M., PAIJITPRAPAPON A. and CHAROENCHAISRI P. (1995b) Arsenic contamination in surface drainage and groundwater in part of the Southeast Asia tin belt. Nakhon si Thammarat Province, Southern Thailand, *Environmental Geology*, 27, 16-33.

WILLIAMS T. M., DUNKLEY P. N. and GAIBOR A. (1997a) Drainage reconnaissance of the Cordillera Occidental of Ecuador between 2°-3°S. Geological Information Mappings Programme (GIMP) Report No. 7. World Bank Mining Development and Environmental Control Project (PRODEMINCA), Misión Geológica Británica, CODIGEM, Quito, Ecuador.

WILLIAMS T. M., REES J. and SETIAPERMANA D. (1997b) Land-derived contaminant influx to Jakarta Bay, Indonesia, Volume 1: Geochemistry of marine water and sediment. British Geological Survey. Overseas Geology Series Technical Report WC/97/19.

WOODS M. A. (1997) Biostratigraphical interpretation of macrofaunas from Ecuador. Technical Report WH/97/13R, Biostratigraphy and Sedimentology Group, British Geological Survey.

